หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๕

ชีววิทยา
เล่ม ๓

ตามผลการเรียนรู้
กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐)
ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑



๘๖.-

หนังสือเรียน

รายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์

ชีววิทยา

ชั้น

มัธยมศึกษาปีที่ ๕ เล่ม ๓

ตามผลการเรียนรู้
กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐)
ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑

จัดทำโดย
สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงศึกษาธิการ

พิมพ์ครั้งที่ ๑
ISBN 978-616-362-803-9
จำนวน ๑๕๐,๐๐๐ เล่ม พ.ศ. ๒๕๖๒

จัดพิมพ์และจัดจำหน่ายโดย
ศูนย์หนังสือแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ถนนพญาไท แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ ๑๐๓๓๐
www.chulabook.com
ฝ่ายขายติดต่อ แผนกขายส่ง โทร. ๐-๒๓๗๔-๑๓๗๕-๖ โทรสาร ๐-๒๓๗๔-๑๓๗๔

พิมพ์ที่
สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
โทร. ๐-๒๒๑๘-๓๕๕๑ โทรสาร ๐-๒๒๑๘-๓๕๕๐
www.cuprint.chula.ac.th

ประกาศสำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน
เรื่อง อนุญาตให้ใช้สื่อการเรียนรู้ในสถานศึกษา

ด้วยสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) ได้จัดทำหนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ ชีววิทยา ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๕ เล่ม ๓ ตามผลการเรียนรู้ กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑ สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน ได้พิจารณาแล้วอนุญาตให้ใช้ในสถานศึกษาได้

ประกาศ ณ วันที่ ๒๘ มกราคม พ.ศ. ๒๕๖๒

(นายบุญรักษ์ ยอดเพชร)
เลขาธิการคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน

คำนำ

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) มีอำนาจหน้าที่ในการพัฒนาหลักสูตร วิธีการเรียนรู้ การประเมินผล การจัดทำหนังสือเรียน แบบฝึกหัด และสื่อการเรียนรู้ทุกประเภทที่ใช้ประกอบการเรียนรู้ในกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ของการจัดการศึกษาขั้นพื้นฐาน

หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ ชีววิทยา ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๕ เล่ม ๓ นี้ สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) จัดทำขึ้นตามผลการเรียนรู้ กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑ เพื่อให้สถานศึกษาพิจารณาเทียบเคียงกับหลักสูตรสถานศึกษา และพิจารณาเลือกใช้หนังสือนี้ประกอบการจัดการเรียนรู้ให้สอดคล้องกับหลักสูตรสถานศึกษาของตนได้ตามความเหมาะสม

สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐานหวังเป็นอย่างยิ่งว่า หนังสือเรียนเล่มนี้จะเป็นประโยชน์ต่อการจัดการเรียนรู้ในรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ และเป็นส่วนสำคัญในการพัฒนาคุณภาพและมาตรฐานการศึกษา กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ขอขอบคุณสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีตลอดจนบุคคลและหน่วยงานอื่น ๆ ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการจัดทำไว้ ณ โอกาสนี้

(นายบุญรักษ์ ยอดเพชร)
เลขาธิการคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน

คำชี้แจง

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) ได้จัดทำตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลาง กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑ โดยมีจุดเน้นเพื่อพัฒนาผู้เรียนให้มีความรู้ความสามารถที่ทัดเทียมกับนานาชาติ ได้เรียนรู้วิทยาศาสตร์ที่เชื่อมโยงความรู้กับกระบวนการ ใช้กระบวนการสืบเสาะหาความรู้และแก้ปัญหาที่หลากหลาย มีการทำกิจกรรมด้วยการลงมือปฏิบัติเพื่อให้ผู้เรียนได้ใช้ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และทักษะแห่งศตวรรษที่ ๒๑ ซึ่งในปีการศึกษา ๒๕๖๑ เป็นต้นไป โรงเรียนจะต้องใช้หลักสูตรกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐) สสวท. จึงได้จัดทำหนังสือเรียนที่เป็นไปตามมาตรฐานหลักสูตรเพื่อให้โรงเรียนได้ใช้สำหรับจัดการเรียนการสอนในชั้นเรียน

หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ ชีววิทยา ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๕ เล่ม ๓ นี้ มีผลการเรียนรู้และสาระการเรียนรู้เพิ่มเติมที่ครอบคลุมเนื้อหาบางส่วนที่ปรากฏตามตัวชี้วัดของรายวิชาพื้นฐานวิทยาศาสตร์ วิทยาศาสตร์ชีวภาพ โดยเมื่อผู้เรียนเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ ชีววิทยา เล่ม ๑ - เล่ม ๖ ครบทุกชั้นปีในชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๔ – ๖ แล้วจะสามารถบรรลุผลสัมฤทธิ์ตามตัวชี้วัดของรายวิชาพื้นฐานวิทยาศาสตร์ วิทยาศาสตร์ชีวภาพได้ และในขณะเดียวกันก็สามารถต่อยอดเนื้อหาจากรายวิชาพื้นฐานไปสู่เนื้อหาในรายวิชาเพิ่มเติมได้โดยไม่ต้องเสียเวลาเรียนซ้ำซ้อน ทั้งนี้หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ ชีววิทยา เล่ม ๓ นี้ มีเนื้อหาที่จำเป็นต้องเรียนประกอบด้วยเรื่องการสืบพันธุ์ของพืชดอก โครงสร้างและการเจริญเติบโตของพืชดอก การลำเลียงของพืช การสังเคราะห์ด้วยแสง การควบคุมการเจริญเติบโตและการตอบสนองของพืช ซึ่งเป็นพื้นฐานสำคัญสำหรับการศึกษาต่อในระดับอุดมศึกษาในด้านวิทยาศาสตร์ หรือประกอบอาชีพในสาขาที่ใช้วิทยาศาสตร์เป็นฐาน เช่น แพทย์ ทันตแพทย์ สัตวแพทย์ เทคโนโลยีชีวภาพ เทคนิคการแพทย์ วิศวกรรม สถาปัตยกรรม วัสดุศาสตร์ อุตุนิยมวิทยา ธรณีวิทยา ฯลฯ โดยเน้นกระบวนการคิดวิเคราะห์และการแก้ปัญหา เชื่อมโยงความรู้สู่การนำไปใช้ในชีวิตจริง ผู้เรียนจะได้ทำกิจกรรมที่เป็นพื้นฐานที่สำคัญ รวมทั้งกิจกรรมที่ผู้เรียนสามารถคิดค้นและออกแบบการทดลองด้วยตนเอง มีแบบตรวจสอบความรู้ความเข้าใจก่อนเรียน มีแบบฝึกหัดเพื่อให้ตรวจทานความรู้หลังจากที่เรียนไปแล้ว รวมทั้งสรุปความรู้ในแต่ละบทด้วย ในการจัดทำหนังสือเรียนเล่มนี้ ได้รับความร่วมมือเป็นอย่างดียิ่งจากผู้ทรงคุณวุฒิ นักวิชาการอิสระ คณาจารย์ทั้งหลาย รวมทั้งครูผู้สอน นักวิชาการ จากสถาบัน และสถานศึกษาทั้งภาครัฐและเอกชน จึงขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้

สสวท. หวังเป็นอย่างยิ่งว่าหนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ ชีววิทยา เล่ม ๓ นี้ จะเป็นประโยชน์แก่ผู้เรียน และผู้ที่เกี่ยวข้องทุกฝ่าย ที่จะช่วยให้การจัดการศึกษาด้านวิทยาศาสตร์มีประสิทธิภาพและประสิทธิผล หากมีข้อเสนอแนะใดที่จะทำให้หนังสือเรียนเล่มนี้ มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น โปรดแจ้ง สสวท. ทราบด้วย จะขอบคุณยิ่ง

(ศาสตราจารย์ชูกิจ ลิมปิจำนงค์)
ผู้อำนวยการสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
กระทรวงศึกษาธิการ

ข้อแนะนำทั่วไปในการใช้หนังสือเรียน

หนังสือเรียนเป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อให้นักเรียนได้ใช้ในการศึกษาเนื้อหาที่สำคัญ และเกิดทักษะที่จำเป็นที่สอดคล้องกับมาตรฐานและสาระการเรียนรู้ รวมทั้งยังมีสื่อที่ช่วยเสริมการเรียนรู้ของนักเรียน โดยสามารถเชื่อมต่อไปยังหน้าเว็บไซต์รายการสื่อได้จาก QR code หรือ URL ที่อยู่ประจำแต่ละบท การทำความเข้าใจเกี่ยวกับสัญลักษณ์หรือข้อความตามหัวข้อต่าง ๆ ที่ปรากฏในหนังสือเรียน จะช่วยให้นักเรียนใช้หนังสือเรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งสัญลักษณ์หรือข้อความตามหัวข้อต่าง ๆ ที่ปรากฏในหนังสือเรียน มีดังนี้

1 คำถามสำคัญ

คำถามประจำบทที่ผู้เรียนต้องอาศัยความรู้ทั้งหมดในบทเรียนในการตอบคำถาม ซึ่งผู้เรียนควรตอบได้หลังจากได้เรียนรู้ในบทนั้นแล้ว

2 จุดประสงค์การเรียนรู้

เป้าหมายของการจัดการเรียนรู้ที่ต้องการให้นักเรียนเกิดความรู้หรือทักษะหลังจากผ่านกิจกรรมการจัดการเรียนรู้ในแต่ละหัวข้อ ซึ่งผู้เรียนควรศึกษาทำความเข้าใจก่อนเริ่มเรียนรู้ในแต่ละหัวข้อ

3 ตรวจสอบความรู้ก่อนเรียน

ชุดคำถามที่ใช้ในการตรวจสอบความรู้ก่อนเรียน ซึ่งผู้เรียนควรตอบคำถามให้ถูกต้องทั้งหมด หากไม่ถูกต้องควรทบทวนเนื้อหานั้นก่อนเริ่มการเรียนรู้เรื่องใหม่ในแต่ละบท

4 ชวนคิด

คำถามระหว่างเรียนที่เชื่อมโยงหรือต่อยอดความรู้เดิมที่ศึกษาแล้วกับความรู้ใหม่ หรือความรู้ในศาสตร์อื่น เพื่อให้ผู้เรียนเห็นความสัมพันธ์หรือความต่อเนื่องของเนื้อหา

5 ตรวจสอบความเข้าใจ

คำถามระหว่างเรียนที่ช่วยประเมินการเรียนรู้ ซึ่งผู้เรียนสามารถใช้ตรวจสอบว่า ตนเองมีความรู้ความเข้าใจในเนื้อหาแล้วหรือยัง

6 ลองทำดู

การปฏิบัติที่ช่วยเสริมความรู้ที่เกี่ยวข้องกับเนื้อหาในบทเรียน ซึ่งผู้เรียนสามารถลงมือปฏิบัติด้วยตนเองนอกเวลาเรียนได้

7 กิจกรรม

การปฏิบัติที่ช่วยในการเรียนรู้เนื้อหาหรือฝึกฝนให้เกิดทักษะตามจุดประสงค์การเรียนรู้ของบทเรียน โดยอาจเป็นการทดลอง การสืบค้นข้อมูล หรือกิจกรรมอื่น ๆ ซึ่งผู้เรียนควรลงมือปฏิบัติกิจกรรมด้วยตนเอง

8 ตัวอย่าง

การแสดงแนวทางการตอบคำถามหรือการแก้โจทย์ปัญหา ซึ่งผู้เรียนสามารถศึกษาเพื่อให้มีความเข้าใจในเนื้อหาบทเรียนมากขึ้น

9 กิจกรรมเสนอแนะ

การปฏิบัติที่ช่วยเสริมความรู้ที่เกี่ยวข้องกับเนื้อหาในบทเรียน ซึ่งอาจเป็นกิจกรรมที่ลงมือปฏิบัติในห้องเรียนหรือนอกเวลาเรียนได้

10 ความรู้เพิ่มเติม

ความรู้ที่เพิ่มเติมจากเนื้อหาในบทเรียน เพื่อให้นักเรียนมีความรู้ความเข้าใจมากขึ้น โดยไม่มีการวัดและประเมินผล

11 รู้หรือไม่

ความรู้ที่เชื่อมโยงให้เห็นความสอดคล้องของเนื้อหาบทเรียนกับปรากฏการณ์หรือสถานการณ์ในชีวิตประจำวัน

12 การเชื่อมโยงความรู้

เนื้อหาที่แสดงความเชื่อมโยงของความรู้ในบทเรียนกับความรู้ในวิชาวิทยาศาสตร์สาขาอื่น ความรู้ในชีวิตประจำวัน หรือความรู้ที่ใช้ในอาชีพต่าง ๆ

13 กรณีศึกษา

ตัวอย่างข้อมูลจากการศึกษาหรืองานวิจัยที่สอดคล้องกับความรู้ในบทเรียน เพื่อให้นักเรียนศึกษาวิเคราะห์จากกรณีจริง

14 สรุปเนื้อหาภายในบทเรียน

การสรุปเนื้อหาสำคัญภายในบทเรียน เพื่อช่วยให้เห็นภาพรวมของเนื้อหาทั้งหมด

15 แบบฝึกหัดท้ายบท

คำถามท้ายบทเรียนสำหรับให้ผู้เรียนตรวจสอบความเข้าใจหลังจากเรียนจบบทเรียนแล้ว ซึ่งผู้เรียนสามารถใช้เป็นข้อมูลในการทบทวนเนื้อหาที่ยังไม่เข้าใจได้

สารบัญ บทที่ 8 - 12

สารบัญ บทที่ 8 - 12

สารบัญ บทที่ 8 - 12

บทที่ 8 | การสืบพันธุ์ของพืชดอก

ipst.me/8861



บัวหลวงเป็นพืชที่มีประโยชน์หลายด้าน นอกจากจะใช้ประโยชน์จากลำต้น ใบ และดอกแล้ว ยังใช้ประโยชน์จากฝัก เมล็ด และดีบัวได้อีกด้วย อย่างไรก็ตามคำที่ใช้เรียกโดยทั่วไปอาจจะไม่ใช่ชื่อโครงสร้างที่แท้จริงตามหลักพฤกษศาสตร์ เช่น ส่วนที่เรียกว่ารากบัวและนำมารับประทานนั้นเป็นส่วนลำต้นใต้ดินที่ทำหน้าที่สะสมอาหาร **ส่วนที่เรียกว่า ฝักบัว เมล็ดบัว และดีบัวเป็นโครงสร้างส่วนใดของบัว และเกี่ยวข้องกับการสืบพันธุ์ของบัวหลวงอย่างไร**

นอกจากบัวหลวงแล้วยังมีพืชดอกชนิดอื่น ๆ อีกมากมายซึ่งพืชดอกนี้มีความหลากหลายมากที่สุดในกลุ่มพืช **ดอกที่มีลักษณะแตกต่างกันนั้นมีกระบวนการสืบพันธุ์ที่เหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร และเมื่อพัฒนาไปเป็นผลและเมล็ดแล้ว มนุษย์นำมาใช้ประโยชน์ในด้านใดบ้าง**

คำถามสำคัญ

1. **การสืบพันธุ์ของพืชดอกมีความสำคัญต่อพืชและสิ่งมีชีวิตอื่นอย่างไร**
2. **การสร้างเซลล์สืบพันธุ์และการปฏิสนธิของพืชดอกมีกระบวนการอย่างไร**

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. อธิบายเกี่ยวกับจำนวนรังไข่และการเจริญเป็นผลชนิดต่าง ๆ
2. อธิบายวัฏจักรชีวิตแบบสลับของพืชดอก
3. อธิบายและเปรียบเทียบกระบวนการสร้างเซลล์สืบพันธุ์เพศผู้และเพศเมียของพืชดอก
4. อธิบายการปฏิสนธิของพืชดอก
5. อธิบายการเกิดผลและการเกิดเมล็ดของพืชดอก
6. อธิบายโครงสร้างของผลและเมล็ด
7. สืบค้นข้อมูลและยกตัวอย่างการใช้ประโยชน์จากโครงสร้างต่าง ๆ ของผลและเมล็ด

ตรวจสอบความรู้ก่อนเรียน

ให้นักเรียนใส่เครื่องหมายถูก (√) หรือผิด (×) หน้าข้อความตามความเข้าใจของนักเรียน

◯ 1. ดอกโดยทั่วไปประกอบด้วยกลีบเลี้ยง กลีบดอก เกสรเพศผู้ และเกสรเพศเมีย

◯ 2. ดอกแต่ละชนิดอาจมีส่วนประกอบต่าง ๆ แตกต่างกัน

◯ 3. พืชดอกสามารถสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศได้

◯ 4. ถ้าเกสรเพศผู้และเกสรเพศเมียอยู่ต่างดอกหรือต่างต้นกัน จำเป็นต้องมีพาหะช่วยในการถ่ายเรณู

◯ 5. ในการถ่ายเรณูแต่ละครั้งจะมีเรณูจำนวนมากตกลงบนยอดเกสรเพศเมีย

◯ 6. การปฏิสนธิในพืชดอกเป็นการปฏิสนธิคู่

◯ 7. หลังการปฏิสนธิของพืชดอก รังไข่จะพัฒนาไปเป็นผลและออวุลจะพัฒนาไปเป็นเมล็ด

◯ 8. ดอกทุกดอกจะพัฒนาไปเป็นผลเสมอ

◯ 9. เมล็ดของพืชดอกอาจมีหรือไม่มีผลห่อหุ้ม

◯ 10. แหล่งอาหารสำหรับเอ็มบริโอ คือ ใบเลี้ยงและเนื้อของผล

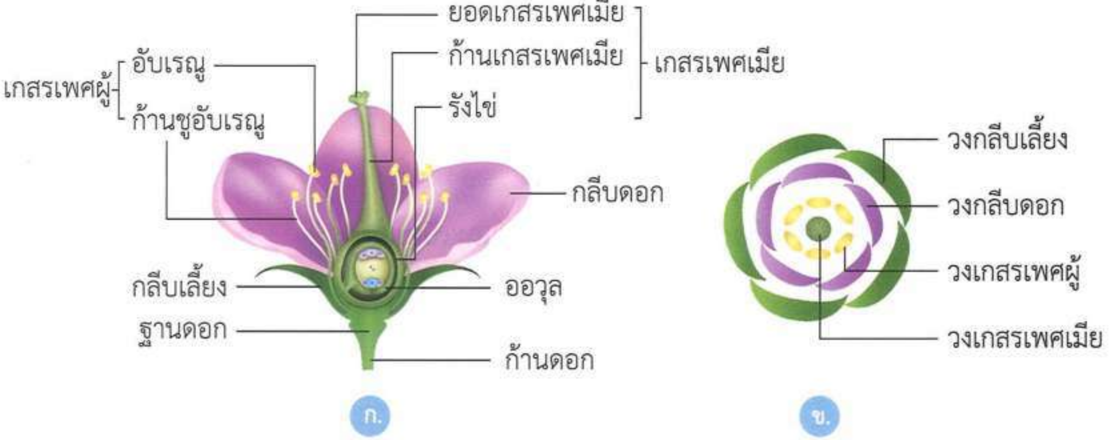
การสืบพันธุ์เป็นกระบวนการสำคัญที่ทำให้พืชสามารถดำรงพันธุ์ไว้ได้ **พืชดอก** (flowering plant หรือ angiosperm) มีการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศและไม่อาศัยเพศ พืชดอกจะสร้างดอกเพื่อใช้ในการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศ ดอกของพืชอาจมีลักษณะ รูปร่าง และโครงสร้างแตกต่างกันไป **โครงสร้างของดอกที่เกี่ยวข้องกับการสืบพันธุ์มีอะไรบ้าง และในพืชแต่ละชนิดมีความเหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร**

8.1 โครงสร้างของดอกและชนิดของผล

8.1.1 โครงสร้างและประเภทของดอก

ดอกโดยทั่วไปมีส่วนประกอบ 4 ชั้น เรียงเป็นวงที่**ฐานดอก** (receptacle) ได้แก่ **วงกลีบเลี้ยง** (calyx) ประกอบด้วย**กลีบเลี้ยง** (sepal) **วงกลีบดอก** (corolla) ประกอบด้วย**กลีบดอก** (petal) **วงเกสรเพศผู้** (androecium) ประกอบด้วย**เกสรเพศผู้** (stamen) และ**วงเกสรเพศเมีย** (gynoecium) ประกอบด้วย**เกสรเพศเมีย** (pistil) ดังรูป 8.1

เกสรเพศผู้ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วนคือ **อับเรณู** (anther) และ**ก้านชูอับเรณู** (filament) ส่วนเกสรเพศเมียแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วน ส่วนล่างสุดที่ติดกับฐานดอกมักมีลักษณะโป่งพองออกมากกว่าส่วนอื่นเรียกว่า **รังไข่** (ovary) ต่อจากรังไข่ขึ้นไปคือ **ก้านเกสรเพศเมีย** (style) และบริเวณปลายสุดคือ **ยอดเกสรเพศเมีย** (stigma) ภายในรังไข่มีโครงสร้างเป็นก้อนกลมหรือรีขนาดเล็กเรียกว่า **ออวุล** (ovule) กลีบเลี้ยงและกลีบดอกติดอยู่เป็นวงบนฐานดอกเรียกว่า วงกลีบ



รูป 8.1 โครงสร้างดอก
ก. ดอกตัดตามยาวแสดงส่วนต่าง ๆ ข. ดอกตัดตามขวางแสดงการจัดเรียงของชั้น 4 ชั้น

รู้หรือไม่

กลีบเลี้ยงและกลีบดอกของพืชบางชนิดมีลักษณะคล้ายกัน เรียงซ้อนกันเป็นวง เรียกว่า วงกลีบรวม เช่น จำปีและบัวจีน



จำปี



บัวจีน

ดอกที่มีส่วนประกอบครบทั้ง 4 ส่วน เรียกว่า **ดอกสมบูรณ์** (complete flower) แต่ถ้าขาดส่วนใดส่วนหนึ่งไปทำให้มีส่วนประกอบไม่ครบทั้ง 4 ส่วน เรียกว่า **ดอกไม่สมบูรณ์** (incomplete flower) เช่น โป๊ยเซียน ไม่มีทั้งกลีบเลี้ยงและกลีบดอก ส่วนดอกที่มีเกสรเพศผู้และเกสรเพศเมียอยู่ภายในดอกเดียวกัน เรียกว่า **ดอกสมบูรณ์เพศ** (perfect flower) ส่วน**ดอกไม่สมบูรณ์เพศ** (imperfect flower) มีเกสรเพศผู้หรือเกสรเพศเมียเพียงอย่างใดอย่างหนึ่ง ดอกที่มีเฉพาะเกสรเพศผู้เรียกว่า ดอกเพศผู้ และดอกที่มีเฉพาะเกสรเพศเมีย เรียกว่า ดอกเพศเมีย ดังรูป 8.2

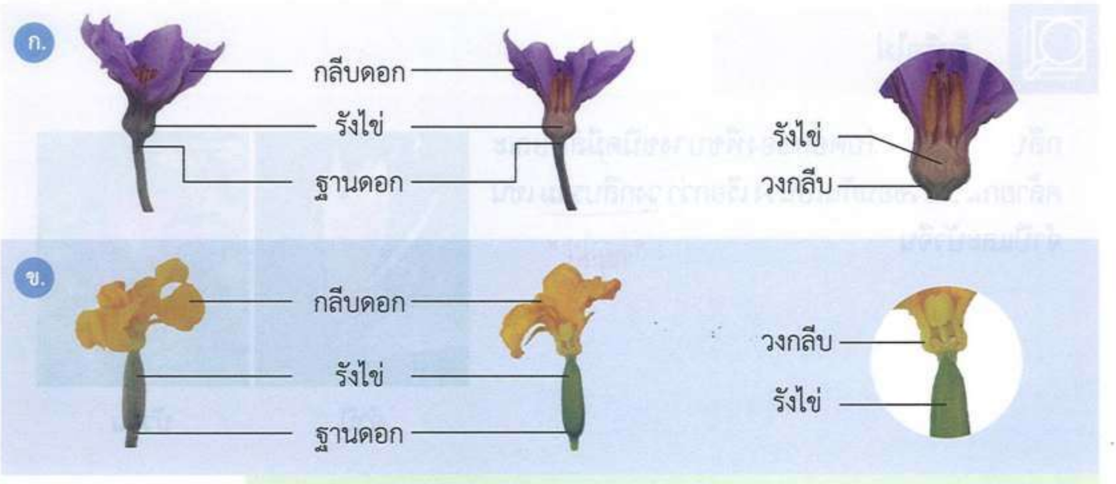


ดอกเพศผู้ ดอกเพศเมีย

รูป 8.2 ดอกไม่สมบูรณ์เพศของปัตตาเวีย

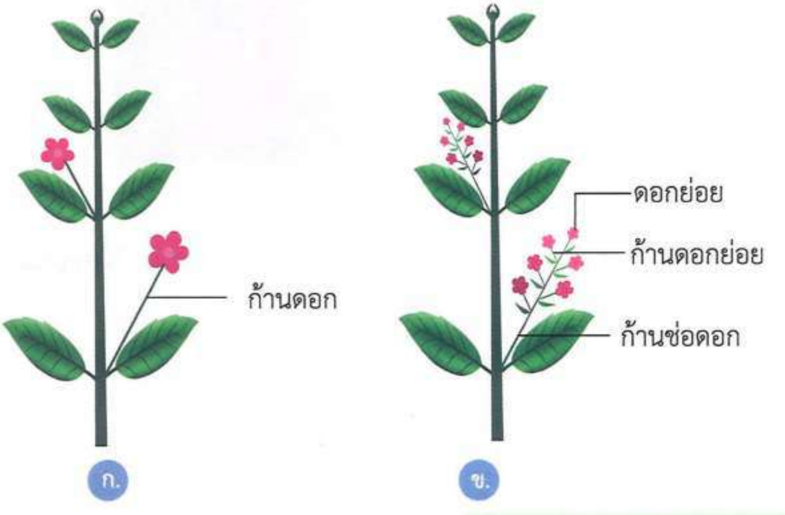
? ดอกสมบูรณ์เพศต้องเป็นดอกสมบูรณ์ด้วยหรือไม่ อย่างไร

การจำแนกประเภทของดอกอาจใช้เกณฑ์อื่นได้อีก เช่น ตำแหน่งของรังไข่เมื่อเทียบกับตำแหน่งวงกลีบ ดอกที่มี**รังไข่เหนือวงกลีบ** (superior ovary) เช่น มะเขือ ตะขบ จำปี พริก ถั่ว มะละกอ และส้ม ส่วนดอกที่มี**รังไข่ใต้วงกลีบ** (inferior ovary) เช่น ตำลึง ฟักทอง แตงกวา บวบ ทับทิม กล้วย และพลับพลึง ดังรูป 8.3



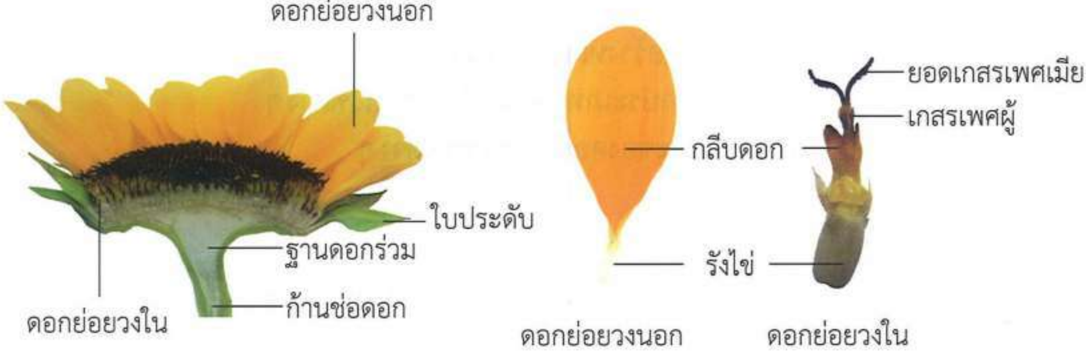
รูป 8.3 โครงสร้างของดอกแบ่งตามตำแหน่งรังไข่
ก. ดอกมะเขือมีรังไข่เหนือวงกลีบ ข. ดอกแตงกวามีรังไข่ใต้วงกลีบ

เมื่อพิจารณาจากจำนวนดอกที่อยู่บนก้านดอก สามารถแบ่งดอกได้เป็น 2 ประเภท คือ **ดอกเดี่ยว** (solitary flower) และ**ดอกช่อ** (inflorescences) ดอกเดี่ยวคือ ดอกที่มีดอกเพียง 1 ดอกบนก้านดอก ดังรูป 8.4 ก. เช่น จำปี บัว คุณนายตื่นสาย และทิวลิป ส่วนดอกช่อคือ ดอกที่มีดอกย่อยมากกว่า 1 ดอก ติดอยู่บนก้านช่อดอก ดังรูป 8.4 ข. ช่อดอกมีลักษณะที่แตกต่างกันแล้วแต่ชนิดของพืช เช่น กล้วยไม้ เข็ม ผกากรอง และราชพฤกษ์



รูป 8.4 การจัดเรียงตัวของดอก
ก. ดอกเดี่ยว ข. ดอกช่อ

ดอกของพืชบางชนิดที่เป็นดอกช่อ แต่มักมีความเข้าใจว่าเป็นดอกเดี่ยว เช่น ทานตะวัน ดาวเรือง ดาวกระจาย และบานชื่น เนื่องจากก้านช่อดอกของพืชเหล่านี้จะหดสั้น และขยายแผ่ออกเป็นวงคล้ายจานเรียกว่า **ฐานดอกร่วม** (common receptacle) ดังนั้นส่วนที่เห็นคล้ายเป็นกลีบดอกติดอยู่ที่วงรอบนอกของฐานดอกร่วมคือ ดอกย่อยที่เรียกว่า ดอกย่อยวงนอก ซึ่งมักเป็นดอกเพศเมีย อาจมี 1 ชั้น หรือมากกว่าก็ได้ ถัดเข้ามาจะเห็นดอกย่อยที่มีลักษณะคล้ายหลอดอยู่เบียดกันแน่นเป็นกลุ่มอยู่บริเวณตรงกลางของฐานดอกร่วมเรียกว่า ดอกย่อยวงใน ซึ่งเป็นดอกสมบูรณ์เพศ ดังรูป 8.5



รูป 8.5 ทานตะวัน

รู้หรือไม่

พืชบางชนิดมีใบที่เปลี่ยนแปลงไปเพื่อทำหน้าที่ป้องกันดอกอ่อน เรียกว่า **ใบประดับ** (bract) ซึ่งพบที่ก้านดอกหรือก้านช่อดอก ใบประดับอาจมีสีสันสวยงามคล้ายกลีบดอก เช่น เฟื่องฟ้า หรือมีใบประดับขนาดใหญ่รองรับช่อดอกและมีสีสันต่าง ๆ เช่น หน้าวัว ดอกบางชนิดมีใบประดับขนาดเล็กและหลุดร่วงง่าย เช่น หางนกยูงไทยและแค



เฟื่องฟ้า



หน้าวัว



หางนกยูงไทย

ดอกทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศ หลังการปฏิสนธิ ออวุลพัฒนาไปเป็นเมล็ดและรังไข่พัฒนาไปเป็นผล **การเจริญเป็นผลชนิดต่าง ๆ เกี่ยวข้องกับจำนวนรังไข่อย่างไร** สามารถศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับดอกและผลชนิดต่าง ๆ จากการทำกิจกรรม 8.1 ดังต่อไปนี้

กิจกรรม 8.1 โครงสร้างของดอกและชนิดของผล

ipst.me/9188

จุดประสงค์

1. ศึกษาส่วนประกอบที่เป็นโครงสร้างหลัก จำนวนเกสรเพศผู้และเกสรเพศเมีย จำนวนรังไข่และตำแหน่งรังไข่ และจำแนกประเภทของดอกโดยใช้เกณฑ์ต่าง ๆ
2. ศึกษาและเปรียบเทียบลักษณะของดอกและผลชนิดต่าง ๆ

วัสดุและอุปกรณ์

1. ตัวแทนของดอกชนิดต่าง ๆ ในกลุ่มต่อไปนี้อย่างน้อยกลุ่มละ 1 ชนิด
   กลุ่มที่ 1 กล้วยไม้สกุลหวาย
   กลุ่มที่ 2 หางนกยูงไทย ราชพฤกษ์ อินทนิลน้ำ
   กลุ่มที่ 3 มะเขือ พริก เข็ม
   กลุ่มที่ 4 บัวหลวง จำปี กระดังงา การเวก น้อยหน่า
   กลุ่มที่ 5 สับปะรด ยอ
   กลุ่มที่ 6 ฟักทอง ตำลึง บวบ
   กลุ่มที่ 7 ทานตะวัน บานชื่น ดาวเรือง ดาวกระจาย
   กลุ่มที่ 8 เฟื่องฟ้า พุทธรักษา โป๊ยเซียน
2. ผลชนิดเดียวกับดอกในข้อ 1 เช่น มะเขือ พริก เข็ม บัวหลวง กระดังงา น้อยหน่า สับปะรด ยอ
3. เข็มเขี่ย ปากคีบ ใบมีดโกน
4. กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงแบบสเตอริโอหรือแว่นขยาย

วิธีการทำกิจกรรม

ตอนที่ 1

1. ศึกษาลักษณะดอก 8 กลุ่มตัวอย่าง โดยพิจารณา
   1.1 จำนวนดอกบนก้านดอก
   1.2 ส่วนประกอบที่เป็นโครงสร้างหลัก
   1.3 จำนวนเกสรเพศผู้และจำนวนเกสรเพศเมีย
   1.4 จำนวนรังไข่ในแต่ละดอก
   1.5 ตำแหน่งรังไข่
2. จำแนกประเภทของดอกโดยใช้เกณฑ์ต่าง ๆ
3. บันทึกผลการทำกิจกรรมเป็นตารางและนำเสนอ

คำถามท้ายกิจกรรม

? จำนวนเกสรเพศผู้และเกสรเพศเมียในดอกแต่ละชนิดมีจำนวนเท่ากันหรือแตกต่างกันอย่างไร

? จำนวนรังไข่ในแต่ละดอกของพืชต่างชนิดกันมีจำนวนเท่ากันหรือไม่ อย่างไร

ตอนที่ 2

1. ศึกษาลักษณะผลของดอกชนิดเดียวกับที่ได้ศึกษาแล้วจากตอนที่ 1 จัดผลออกเป็นกลุ่มโดยพิจารณาจากลักษณะต่าง ๆ เช่น จำนวนดอกบนก้านดอก จำนวนรังไข่ใน 1 ดอก จำนวนรังไข่ที่เจริญเป็นผล 1 ผล
2. บันทึกการจัดกลุ่มของผลที่ได้ศึกษาจากข้อ 1 เพื่อเปรียบเทียบดอกและผลชนิดต่างๆ รวมทั้งวาดรูปหรือถ่ายรูปดอกและผลที่ได้ศึกษาเพื่อนำเสนอข้อมูล

คำถามท้ายกิจกรรม

? ดอกเดี่ยวที่มี 1 รังไข่และดอกเดี่ยวที่มีหลายรังไข่ จะเจริญไปเป็นผลที่มีลักษณะเหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร

จากกิจกรรม 8.1 จะเห็นได้ว่า ลักษณะของดอกและจำนวนรังไข่เกี่ยวข้องกับการเจริญเป็นผลประเภทต่าง ๆ

8.1.2 ชนิดของผล

ผลอาจแบ่งได้เป็น 3 ประเภท ตามกำเนิดของผล ลักษณะดอก และจำนวนรังไข่ คือ **ผลเดี่ยว** (simple fruit) **ผลกลุ่ม** (aggregate fruit) และ**ผลรวม** (multiple fruit) ดังนี้

1. **ผลเดี่ยว** เป็นผลที่เจริญมาจากดอก 1 ดอกที่มีรังไข่ 1 รังไข่ จะเป็นดอกเดี่ยวหรือดอกช่อก็ได้ ดังรูป 8.6 ผลเดี่ยวจากดอกเดี่ยว เช่น ตะขบ ส้ม ทุเรียน มะเขือ และต้อยติ่ง แต่ถ้าเป็นดอกช่อ รังไข่ของดอกย่อยแต่ละดอกเมื่อเจริญเป็นผลจะเจริญแยกจากกัน เช่น กระถิน องุ่น และมะพร้าว

ตะขบ



กระถิน



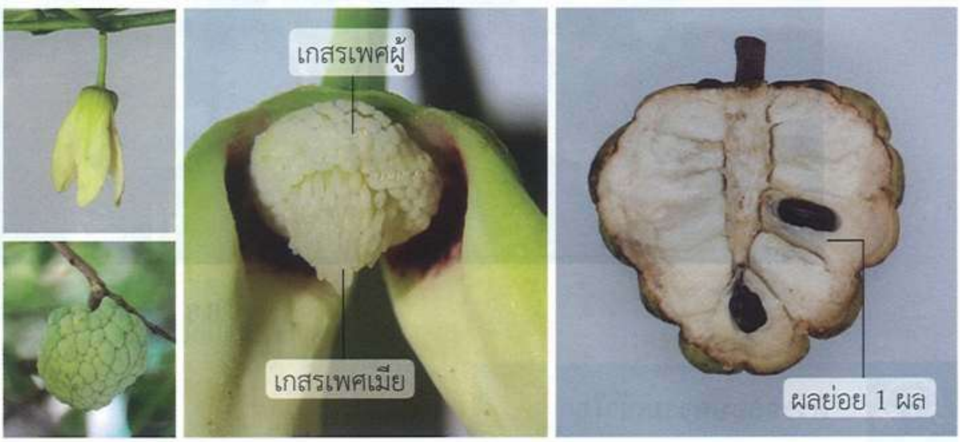
รูป 8.6 ดอกและผลเดี่ยว

2. **ผลกลุ่ม** เป็นผลที่เกิดมาจากดอก 1 ดอกที่มีจำนวนเกสรเพศเมียมากกว่า 1 อันอยู่บนฐานดอกเดียวกัน จึงมีรังไข่มากกว่า 1 รังไข่ เมื่อแต่ละรังไข่เจริญเป็นผลย่อย 1 ผล ทำให้แต่ละผลติดอยู่บนฐานดอกเดียวกัน ผลย่อยอาจแยกจากกัน เช่น จำปี จำปา การเวก และกระดังงา หรือผลย่อยอาจเชื่อมติดกันคล้ายผลเดี่ยว เช่น น้อยหน่า บัวหลวง และสตรอเบอรี ดังรูป 8.7

จำปา



น้อยหน่า



บัวหลวง



รูป 8.7 ดอกและผลกลุ่ม

3. **ผลรวม** เป็นผลที่เกิดมาจากดอกช่อ ซึ่งมีดอกย่อยจำนวนมากและอยู่เบียดชิดกันในช่อดอกเดียวกัน และรังไข่ของดอกย่อยแต่ละดอกจะเจริญเป็นผลย่อยที่อยู่เบียดชิดกันบนแกนช่อดอกจนดูคล้ายเป็นหนึ่งผล เช่น ยอ หม่อน สับปะรด สาเก ขนุน และมะเดื่อ ดังรูป 8.8



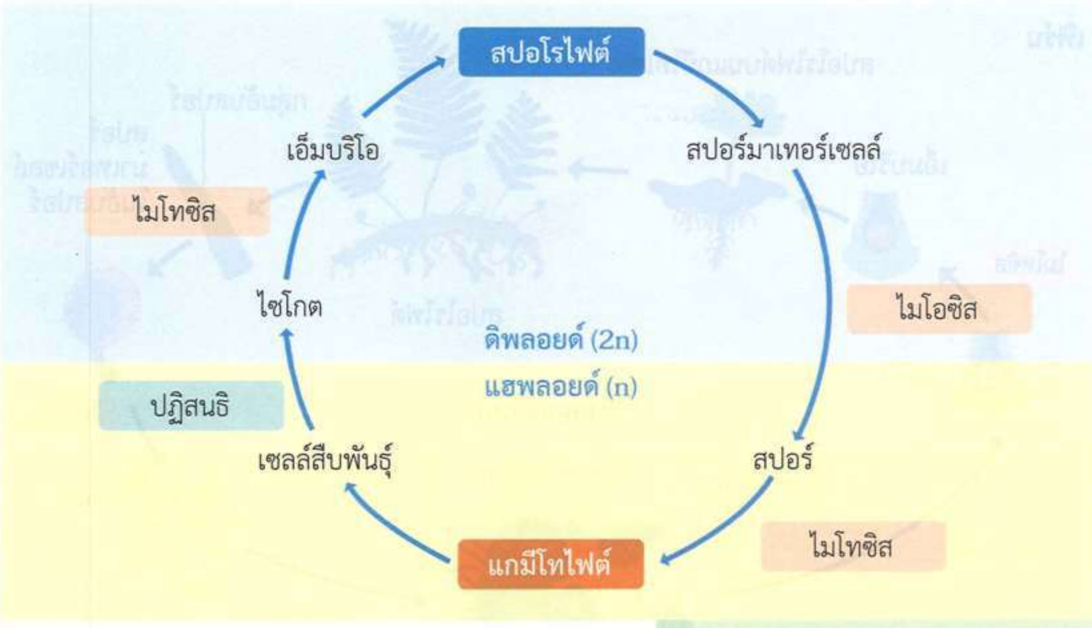
รูป 8.8 ช่อดอกและผลรวมของยอ

ตรวจสอบความเข้าใจ

? ชนิดของดอกและจำนวนรังไข่ภายในดอกมีความสัมพันธ์กับชนิดของผลอย่างไร

8.2 วัฏจักรชีวิตแบบสลับของพืชดอก

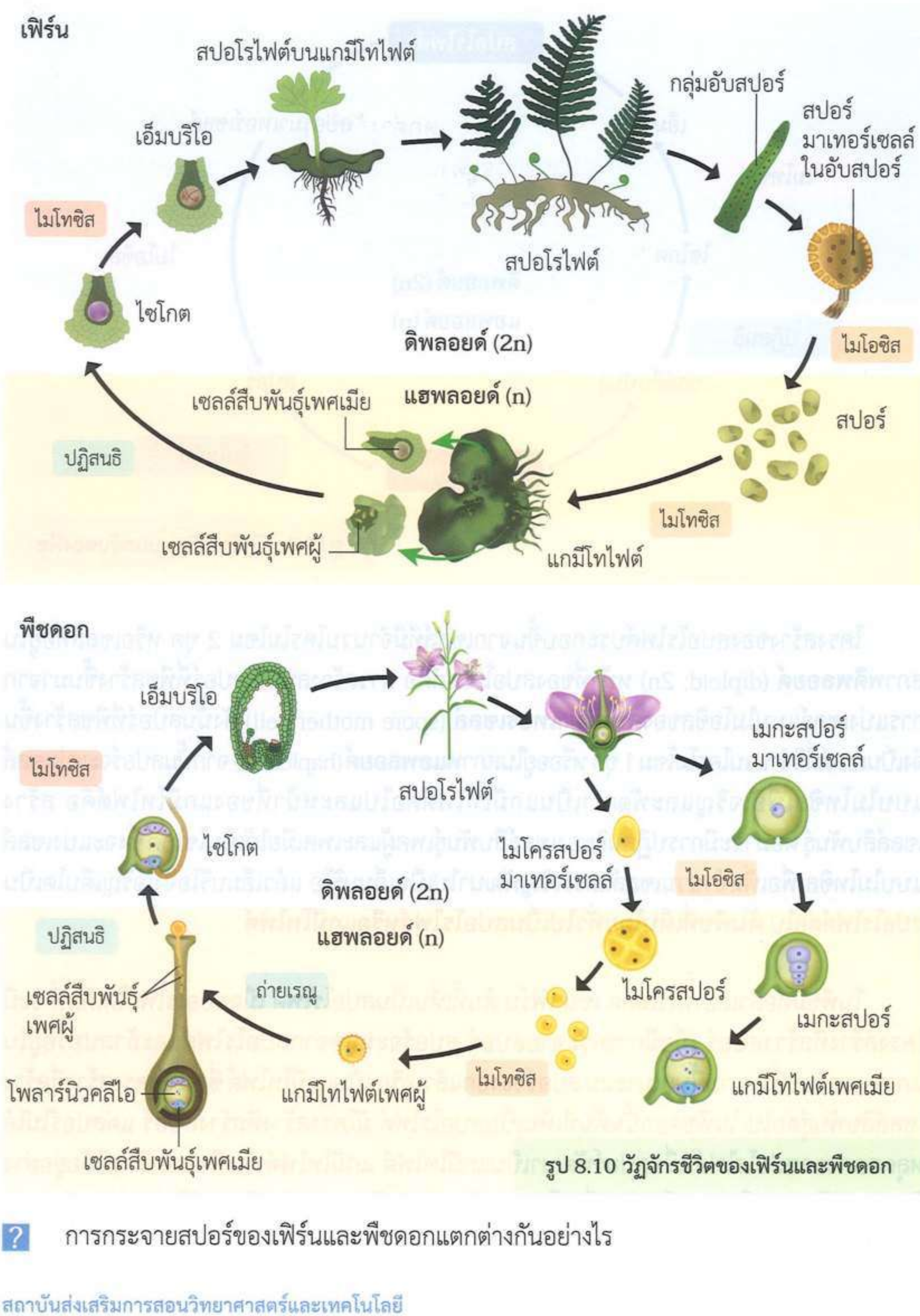
พืชดอกเมื่อเจริญเติบโตและมีดอก ดอกจะมีการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศ ซึ่ง**การปฏิสนธิ** (fertilization) ของสเปิร์มและเซลล์ไข่จะได้**ไซโกต** (zygote) และจะพัฒนาต่อไปเป็น**เอ็มบริโอ** (embryo) ซึ่งอยู่ภายในเมล็ด เมื่อเมล็ดงอก เอ็มบริโอจะเจริญเติบโตเป็นพืชต้นใหม่แล้วออกดอกเพื่อสืบพันธุ์ต่อไป หมุนเวียนเป็น**วัฏจักรชีวิต** (life cycle) วัฏจักรชีวิตของพืชเป็น**วัฏจักรชีวิตแบบสลับ** (alternation of generation) ประกอบด้วย **สปอโรไฟต์** (sporophyte) ซึ่งเป็นระยะที่สร้างสปอร์และ**แกมีโทไฟต์** (gametophyte) ซึ่งเป็นระยะที่สร้างเซลล์สืบพันธุ์ ในช่วงชีวิตของพืชต้นหนึ่งจะมีสองระยะนี้สลับกัน ดังรูป 8.9



รูป 8.9 วัฏจักรชีวิตแบบสลับของพืช

โครงสร้างของสปอโรไฟต์ประกอบขึ้นจากเซลล์ที่มีจำนวนโครโมโซม 2 ชุด หรือเซลล์ที่อยู่ในสภาพ**ดิพลอยด์** (diploid; 2n) หน้าที่ของสปอโรไฟต์คือ การสร้างสปอร์ สปอร์ที่พืชสร้างขึ้นมาจากการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิสของ**สปอร์มาเทอร์เซลล์** (spore mother cell) ดังนั้นสปอร์ที่พืชสร้างขึ้นจึงเป็นเซลล์ที่มีจำนวนโครโมโซม 1 ชุด หรืออยู่ในสภาพ**แฮพลอยด์** (haploid; n) จากนั้นสปอร์จะแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสเพื่อเจริญและพัฒนาเป็นแกมีโทไฟต์ต่อไปและหน้าที่ของแกมีโทไฟต์คือ สร้างเซลล์สืบพันธุ์ ต่อมาจะมีการปฏิสนธิของเซลล์สืบพันธุ์เพศผู้และเพศเมียได้เป็นไซโกต ซึ่งจะแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสเพื่อเพิ่มจำนวนเซลล์และเจริญพัฒนาไปเป็นเอ็มบริโอ แล้วเอ็มบริโอจึงเจริญเติบโตเป็นสปอโรไฟต์ต่อไป **ต้นพืชที่เห็นโดยทั่วไปเป็นสปอโรไฟต์หรือแกมีโทไฟต์**

ในพืชมีท่อลำเลียงที่ไร้เมล็ด เช่น เฟิร์น ต้นที่เห็นเป็นสปอโรไฟต์ เมื่อสปอโรไฟต์โตเต็มที่ จะมีโครงสร้างที่สร้างสปอร์ เมื่อมีการกระจายสปอร์ สปอร์จะหลุดจากสปอโรไฟต์และถ้าสปอร์อยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีความชื้นเหมาะสม สปอร์จะงอกแล้วเจริญเป็นแกมีโทไฟต์ ซึ่งจะมีโครงสร้างที่สร้างเซลล์สืบพันธุ์ต่อไป ในพืชดอกนั้นต้นที่เห็นเป็นสปอโรไฟต์ มีโครงสร้างที่สร้างสปอร์ แต่สปอร์ไม่ได้หลุดออกจากสปอโรไฟต์ เมื่อสปอร์พัฒนาเป็นแกมีโทไฟต์ แกมีโทไฟต์ของพืชดอกจึงไม่ได้อยู่อย่างอิสระ แต่มีขนาดเล็กและเป็นส่วนที่อยู่ในดอก โดยทั่วไปจึงจะมองไม่เห็นแกมีโทไฟต์ของพืชดอก ซึ่งต่างจากแกมีโทไฟต์ของเฟิร์นที่สามารถมองเห็นได้เป็นแผ่นสีเขียวบาง ๆ ดังรูป 8.10



รูป 8.10 วัฏจักรชีวิตของเฟิร์นและพืชดอก

? การกระจายสปอร์ของเฟิร์นและพืชดอกแตกต่างกันอย่างไร

8.3 การสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศของพืชดอก

ส่วนประกอบของดอกแต่ละส่วนทำหน้าที่แตกต่างกันไป กลีบเลี้ยงโดยทั่วไปมักมีสีเขียว ทำหน้าที่ป้องกันส่วนประกอบอื่น ๆ ของดอกที่อยู่ด้านใน กลีบดอกมักมีรูปร่างและสีสันสวยงามหรือมีกลิ่นหอมเพื่อดึงดูดแมลงหรือสัตว์อื่น ๆ สำหรับช่วยใน**การถ่ายเรณู** (pollination) ส่วนวงเกสรเพศผู้และวงเกสรเพศเมียเป็นส่วนประกอบของดอกที่เกี่ยวข้องกับการสืบพันธุ์โดยตรง

รู้หรือไม่

พืชหลายปี (perennial plant) เป็นพืชที่ใช้เวลาหลายปีในการเจริญเติบโตตั้งแต่เริ่มงอกกระทั่งตาย ตลอดช่วงชีวิตออกดอกได้หลายครั้ง แต่พืชบางชนิดแม้มีอายุยืนยาวหลายปีแต่ออกดอกได้ครั้งเดียวในชีวิต เช่น ไผ่บางชนิดและลาน เมื่อออกดอกและติดผลแล้วก็จะตายไป



ไผ่ป่า



ลาน

8.3.1 การสร้างไมโครสปอร์และเมกะสปอร์ และการสร้างเซลล์สืบพันธุ์

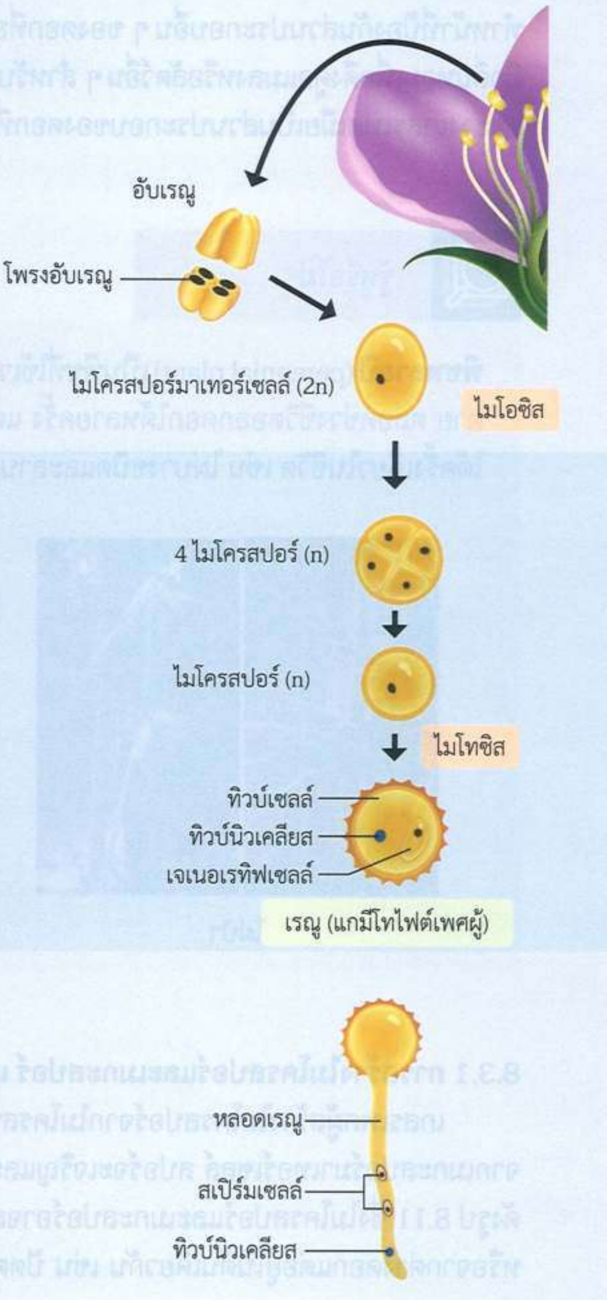
เกสรเพศผู้สร้างไมโครสปอร์จากไมโครสปอร์มาเทอร์เซลล์ ส่วนเกสรเพศเมียสร้างเมกะสปอร์จากเมกะสปอร์มาเทอร์เซลล์ สปอร์จะเจริญและพัฒนาเป็นแกมีโทไฟต์อยู่ภายในดอกบนสปอโรไฟต์ ดังรูป 8.11 ซึ่งไมโครสปอร์และเมกะสปอร์อาจสร้างในดอกเดียวกัน เช่น ชบา กุหลาบ และพลับพลึง หรือจากต่างดอกแต่อยู่ในต้นเดียวกัน เช่น ปัตตาเวียและข้าวโพด หรือต่างต้นกันก็ได้ เช่น ตาลและสละ

การสร้างเซลล์สืบพันธุ์เพศผู้

ภายในอับเรณูของเกสรเพศผู้จะพบช่องลักษณะค่อนข้างกลม โดยทั่วไปพบ 4 ช่องเรียกว่า **โพรงอับเรณู** (pollen sac) ภายในมี**ไมโครสปอร์มาเทอร์เซลล์** (microspore mother cell) อยู่เป็นจำนวนมาก

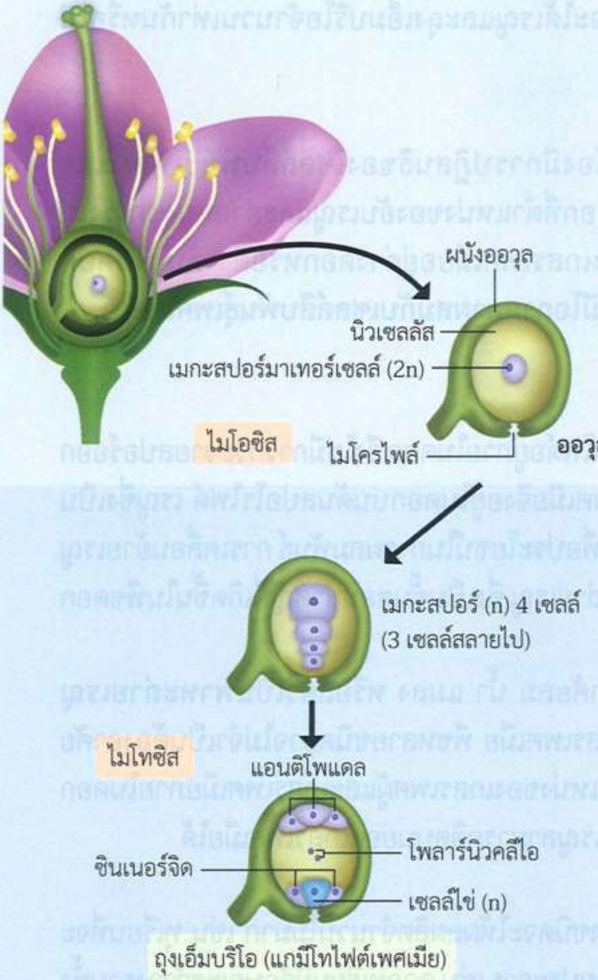
ไมโครสปอร์มาเทอร์เซลล์ 1 เซลล์ แบ่งเซลล์แบบไมโอซิสได้ไมโครสปอร์ 4 เซลล์ โดยไมโครสปอร์แต่ละเซลล์นี้จะแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสได้ 2 เซลล์ คือ ทิวบ์เซลล์และเจเนอเรทิฟเซลล์ เรียกโครงสร้างนี้ว่า **เรณู** (pollen) ดังนั้นเรณูจึงเป็น**แกมีโทไฟต์เพศผู้** (male gametophyte) ของพืชดอก

เมื่อเรณูตกบนยอดเกสรเพศเมีย ทิวบ์เซลล์จะงอกหลอดเรณู และเจเนอเรทิฟเซลล์แบ่งเซลล์แบบไมโทซิสได้เซลล์สืบพันธุ์เพศผู้หรือสเปิร์มเซลล์ 2 เซลล์ การแบ่งเซลล์เพื่อสร้างสเปิร์มเซลล์นี้มักเกิดขึ้นหลังจากการถ่ายเรณู แต่พืชบางชนิดอาจเกิดขึ้นก่อนการถ่ายเรณูได้



รูป 8.11 การสร้างเซลล์สืบพันธุ์ของพืชดอก

การสร้างเซลล์สืบพันธุ์เพศเมีย



ออวุลประกอบด้วย**ผนังออวุล** (integument) ซึ่งเป็นเนื้อเยื่อชั้นนอกของออวุลหุ้มเนื้อเยื่อภายในที่เรียกว่า **นิวเซลลัส** (nucellus) ซึ่งประกอบด้วยเซลล์จำนวนมากโดยมีเซลล์ขนาดใหญ่กว่าเซลล์อื่นจำนวน 1 เซลล์เรียกว่า**เมกะสปอร์มาเทอร์เซลล์** (megaspore mother cell) ซึ่งจะแบ่งเซลล์แบบไมโอซิสเพื่อสร้างเมกะสปอร์จำนวน 4 เซลล์ ออวุลที่ยังเจริญไม่เต็มที่ ผนังออวุลหุ้มไม่รอบจึงเกิดเป็นช่องเปิด เรียกว่า **ไมโครไพล์** (micropyle)

โดยทั่วไปเมกะสปอร์ 4 เซลล์ ที่เกิดขึ้นภายในออวุลนั้น จะมี 3 เซลล์ที่สลายไปเหลือเพียง 1 เซลล์ที่พัฒนาต่อไปเป็น**แกมีโทไฟต์เพศเมีย** (female gametophyte) โดยแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส 3 ครั้ง ได้ 8 นิวเคลียส แยกกันอยู่ที่ขั้วตรงข้ามกัน ขั้วละ 4 นิวเคลียส โดย 3 นิวเคลียสของขั้วบนจะเคลื่อนไปอยู่ที่ด้านตรงข้ามกับไมโครไพล์และสร้างเยื่อหุ้มล้อมรอบแต่ละนิวเคลียส เรียกกลุ่มเซลล์นี้ว่า **แอนติโพแดล** (antipodal) อีก 3 นิวเคลียสของขั้วล่างจะเคลื่อนไปอยู่ทางด้านไมโครไพล์และเปลี่ยนสภาพเป็นเซลล์เช่นกัน โดย 1 เซลล์ที่อยู่ด้านไมโครไพล์ทำหน้าที่เป็น**เซลล์ไข่** (egg cell) หรือเซลล์สืบพันธุ์เพศเมีย ส่วนอีก 2 เซลล์ที่อยู่ด้านข้างของเซลล์ไข่เรียก **ซินเนอร์จิด** (synergid) ส่วนอีก 1 นิวเคลียสที่เหลือของแต่ละขั้วจะเคลื่อนมาอยู่ตรงกลางเกิดเป็นสภาพนิวเคลียสคู่ (n+n) เรียก 2 นิวเคลียสนี้ว่า **โพลาร์นิวคลีไอ** (polar nuclei) ซึ่งมีไซโทพลาซึมเดิมล้อมรอบเกิดเป็นเซลล์ขนาดใหญ่เรียกว่า **เซนทรัลเซลล์** (central cell) อยู่ตรงกลางของ**ถุงเอ็มบริโอ** (embryo sac) ซึ่งถุงเอ็มบริโอนี้เป็นระยะแกมีโทไฟต์เพศเมียที่เจริญเต็มที่ของพืชดอก

? การแบ่งเซลล์แบบไมโอซิสของเมกะสปอร์มาเทอร์เซลล์มีผลอย่างไรต่อลักษณะทางพันธุกรรมของพืชในรุ่นต่อไป

? ถ้าเริ่มจากไมโครสปอร์มาเทอร์เซลล์ 1 เซลล์และเมกะสปอร์มาเทอร์เซลล์ 1 เซลล์ เมื่อมีการสร้างสปอร์และพัฒนาไปเป็นแกมีโทไฟต์ จะได้เรณูและถุงเอ็มบริโอจำนวนเท่ากันหรือไม่ อย่างไร

การสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศของพืชดอกต้องมีการปฏิสนธิของเซลล์สืบพันธุ์เพศผู้และเซลล์สืบพันธุ์เพศเมีย แต่เมื่อพิจารณาโครงสร้างดอกที่ตำแหน่งของอับเรณูและตำแหน่งของรังไข่ที่อยู่ห่างกัน หรือในพืชบางชนิดที่เกสรเพศผู้และเกสรเพศเมียอยู่ต่างดอกหรือต่างต้น **พืชดอกมีกระบวนการอย่างไรที่ทำให้เซลล์สืบพันธุ์เพศผู้มีโอกาสมาผสมกับเซลล์สืบพันธุ์เพศเมียได้**

การถ่ายเรณูและการงอกของหลอดเรณู

พืชดอกมีสปอร์ที่เจริญและพัฒนาเป็นแกมีโทโฟต์อยู่ภายในดอก จึงไม่มีการกระจายสปอร์ออกจากต้นสปอโรไฟต์ ถุงเอ็มบริโอที่เป็นแกมีโทไฟต์เพศเมียจึงอยู่ในดอกบนต้นสปอโรไฟต์ เรณูซึ่งเป็นแกมีโทไฟต์เพศผู้มักจะมีการกระจายออกจากดอกเพื่อประโยชน์ในการผสมพันธุ์ การเคลื่อนย้ายเรณูจากอับเรณูไปตกบนยอดเกสรเพศเมีย เรียกว่า การถ่ายเรณู ซึ่งเป็นขั้นตอนสำคัญที่เกิดขึ้นในพืชดอก

การถ่ายเรณูในธรรมชาติอาจเกิดขึ้นโดยอาศัยลม น้ำ แมลง หรือสัตว์เป็น**พาหะถ่ายเรณู** (pollinator) ในการนำเรณูจากอับเรณูไปยังยอดเกสรเพศเมีย พืชหลายชนิดอาจไม่จำเป็นต้องอาศัยตัวกลางในการถ่ายเรณู แต่จะอาศัยลักษณะและตำแหน่งของเกสรเพศผู้และเกสรเพศเมียภายในดอกที่มีความจำเพาะเหมาะสมกันที่จะเอื้อให้เรณูจากอับเรณูสามารถติดบนยอดเกสรเพศเมียได้

การถ่ายเรณูตามธรรมชาติในพืชเศรษฐกิจบางชนิดจะให้ผลผลิตจำนวนไม่มาก เช่น ทุเรียนที่จะติดผลน้อยกว่าร้อยละ 10 โดยมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องหลายประการ เช่น ดอกทุเรียนมีลักษณะคว่ำลงรวมทั้งระยะห่างระหว่างอับเรณูและยอดเกสรเพศเมีย ทำให้เรณูไม่สามารถตกบนยอดเกสรเพศเมียได้ และดอกทุเรียนบานในเวลากลางคืนซึ่งเป็นช่วงที่มีสัตว์ช่วยถ่ายเรณูน้อย เช่น ค้างคาว และระยะเวลาของการเจริญเต็มที่ของเกสรเพศเมียและเกสรเพศผู้ไม่พร้อมกัน ส่วนพืชบางชนิด เช่น สละ เป็นต้นแยกเพศต้องอาศัยแมลงในการถ่ายเรณู ถ้ามีแมลงน้อยหรือมีต้นเพศผู้น้อยก็จะทำให้การถ่ายเรณูเกิดได้น้อย ในปัจจุบันมนุษย์จึงมีบทบาทช่วยทำให้เกิดการถ่ายเรณูได้มากขึ้น เช่น การเลี้ยงผึ้งในสวนผลไม้

รู้หรือไม่

มนุษย์ช่วยถ่ายเรณูในทุเรียน โดยจะตัดอับเรณูที่แตกเก็บไว้และนำพู่กันมาแตะเรณูป้ายบนยอดเกสรเพศเมียในช่วงเวลาที่เกสรเพศเมียเจริญเต็มที่ หรือในเวลาที่อับเรณูเจริญเต็มที่จะใช้ไม้กวาดขนาดเล็กปัดที่ดอกทุเรียนเพื่อให้เรณูกระจายและตกบนยอดเกสรเพศเมีย

นอกจากนี้การถ่ายเรณูโดยมนุษย์ยังสามารถผสมพันธุ์ทุเรียนแบบข้ามสายพันธุ์ได้อีกด้วย เช่น ลูกผสมระหว่างพันธุ์ชะนีและพันธุ์หมอนทอง โดยตัดกลีบดอกและเกสรเพศผู้ของดอกพันธุ์แม่ออกเหลือเฉพาะเกสรเพศเมียแล้วคลุมด้วยผ้าขาวบาง เมื่อถึงเวลาที่เรณูมีความพร้อมในการผสม จึงนำดอกเพศผู้ของพันธุ์ที่ต้องการผสมมาสัมผัสที่ยอดเกสรเพศเมียของดอกที่ตัดแต่งไว้



ตัดอับเรณูที่แตกเก็บไว้



นำพู่กันมาแตะเรณูที่ตัดไว้ไปถ่ายให้เกสรเพศเมีย

- ? การถ่ายเรณูมีความสำคัญต่อการสืบพันธุ์ของพืชอย่างไร
- ? การถ่ายเรณูในดอกเดียวกันมีผลดีหรือผลเสียต่อพืชอย่างไร
- ? การป้องกันการถ่ายเรณูในดอกเดียวกันมีวิธีการอย่างไร
- ? การป้องกันไม่ให้เรณูจากดอกอื่นมาผสมมีวิธีการอย่างไร

หลังจากเกิดการถ่ายเรณูแล้ว จะมีการงอกของหลอดเรณูและกระบวนการสร้างเซลล์สืบพันธุ์เพศผู้เพื่อเข้าไปผสมกับเซลล์ไข่ต่อไป **การงอกของหลอดเรณูหลังจากตกบนยอดเกสรเพศเมียเกิดขึ้นได้อย่างไร**

กิจกรรม 8.2 รูปร่างลักษณะของเรณูและการงอกของหลอดเรณู

ipst.me/9189

จุดประสงค์

เพื่อศึกษารูปร่างลักษณะของเรณูและการงอกของหลอดเรณู

วัสดุและอุปกรณ์

1. ดอกชนิดต่าง ๆ เช่น แพงพวยฝรั่ง พลับพลึง ว่านกาบหอย ต้อยติ่งเทศ ชบา
2. สารละลายน้ำตาลซูโครสความเข้มข้น 10%
3. กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงเชิงประกอบ
4. เข็มเขี่ย ปากคีบ
5. สไลด์ กระจกปิดสไลด์

วิธีการทำกิจกรรม

1. นำอับเรณูของแพงพวยฝรั่งวางบนสไลด์ที่มีสารละลายน้ำตาลซูโครสความเข้มข้น 10% ใช้ปลายเข็มเขี่ยสะกิดให้อับเรณูแตก หรือใช้วิธีเคาะเบา ๆ ให้เรณูร่วงลงบนสไลด์ ปิดด้วยกระจกปิดสไลด์ นำไปตรวจดูด้วยกล้องจุลทรรศน์กำลังขยายต่ำ บันทึกผลโดยการถ่ายรูปหรือวาดรูปแสดงรูปร่างลักษณะของเรณู
2. วางสไลด์ในจานเพาะเชื้อที่มีสำลีชุบน้ำเพื่อให้มีความชื้น และนำสไลด์ไปศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์เพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงของเรณูทุก 10 นาที เป็นเวลา 30 นาที โดย 5 นาทีแรกให้สังเกตอย่างต่อเนื่อง
3. ระหว่างที่รอผลการศึกษาทุก 10 นาทีของเรณูของแพงพวยฝรั่ง ให้นำเรณูของพืชอีกหนึ่งชนิดมาศึกษาเช่นเดียวกัน

หมายเหตุ : เนื่องจากต้องศึกษา 2 สไลด์สลับกัน เพื่อให้ได้ศึกษาเรณูที่ตำแหน่งเดิมบนแต่ละสไลด์ ควรวงกลมรอบบริเวณที่ศึกษาและเขียนชื่อชนิดของดอกไม้บนสไลด์ด้วย

คำถามท้ายกิจกรรม

- ? รูปร่างลักษณะและจำนวนของเรณูมีความเหมาะสมในการถ่ายเรณูอย่างไร
- ? ในการทดลองเห็นการงอกของหลอดเรณูในดอกทุกชนิดหรือไม่ อย่างไร
- ? ในบางเรณูที่มีการงอกของหลอดเรณูมากกว่า 1 อัน แต่ละอันจะงอกยาวเท่ากันหรือไม่ อย่างไร

เรณูของพืชต่างชนิดจะมีความแตกต่างกัน ทั้งด้านรูปร่าง ลักษณะ และจำนวน ซึ่งรูปร่างลักษณะของเรณูจะมีผลต่อรูปแบบการถ่ายเรณู เช่น เรณูบางชนิดมีผิวเป็นหนามหรือเหนียวเพื่อให้ติดไปกับแมลงได้ง่าย หรือเมื่อตกบนยอดเกสรเพศเมียแล้วจะไม่ปลิวหลุดไป และบนยอดเกสรเพศเมียจะมีของเหลวที่มีองค์ประกอบเป็นน้ำ น้ำตาล ลิพิด โปรตีนและอื่น ๆ ซึ่งจะช่วยกระตุ้นการงอกของเรณูได้

เมื่อมีการถ่ายเรณูเกิดขึ้นแล้ว เรณูจะงอกหลอดเรณูผ่านยอดเกสรเพศเมียแล้วผ่านก้านเกสรเพศเมียลงไปจนถึงรังไข่ เรณูของพืชบางชนิดอาจงอกหลอดเรณูได้หลายอัน แต่จะมีเฉพาะหลอดเรณูที่ทิวบ์นิวเคลียสเคลื่อนเข้าไปเท่านั้นที่จะงอกยาวต่อไปจนถึงออวุล และสเปิร์มเซลล์ทั้งสองเซลล์จะเคลื่อนตามทิวบ์นิวเคลียสภายในหลอดเรณูซึ่งจะผ่านเข้าไปในออวุลทางไมโครไพล์ แล้วปล่อยสเปิร์มนิวเคลียสเข้าไปภายในถุงเอ็มบริโอเพื่อเกิดการปฏิสนธิต่อไป

8.3.2 การปฏิสนธิ

การปฏิสนธิของพืชดอกเป็น**การปฏิสนธิคู่** (double fertilization) โดยคู่หนึ่งเป็นการรวมกันของสเปิร์มเซลล์เซลล์หนึ่งกับเซลล์ไข่ได้เป็นไซโกต ซึ่งจะเจริญและพัฒนาไปเป็นเอ็มบริโอ และอีกคู่หนึ่งเป็นการรวมกันของสเปิร์มเซลล์อีกเซลล์หนึ่งกับโพลาร์นิวคลีไอ ได้เป็นเอนโดสเปิร์มนิวเคลียสซึ่งจะเจริญและพัฒนาต่อไปเป็น**เอนโดสเปิร์ม** (endosperm) ขั้นตอนการปฏิสนธิคู่ ดังรูป 8.12



รูป 8.12 การปฏิสนธิคู่ของพืชดอก

ตรวจสอบความเข้าใจ

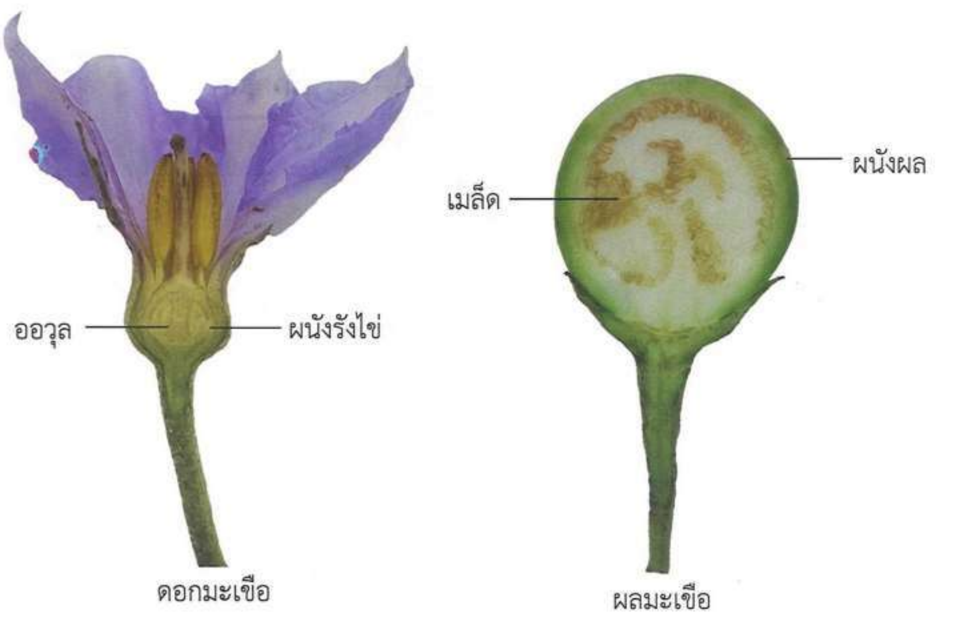
? เซลล์สืบพันธุ์เพศผู้ผสมกับเซลล์สืบพันธุ์เพศเมียที่อยู่ในถุงเอ็มบริโอได้อย่างไร

8.3.3 การเกิดผลและเมล็ด

จากการทำกิจกรรม 8.1 พบว่าผลไม้แต่ละชนิดมีรูปร่างลักษณะ ขนาด และเปลือกของผลที่มองเห็นภายนอกแตกต่างกัน และเมื่อผ่าผลไม้แต่ละชนิดจะพบเมล็ดอยู่ข้างในซึ่งเมล็ดก็มีรูปร่างลักษณะ และจำนวนที่แตกต่างกันด้วย **ผลและเมล็ดของพืชเกิดขึ้นได้อย่างไร และพืชแต่ละชนิดมีกระบวนการการเกิดผลและเมล็ดที่เหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร**

ผล

โดยทั่วไปหลังการปฏิสนธิแล้วนั้น กลีบดอก กลีบเลี้ยง และเกสรเพศผู้จะแห้งและร่วงไป ออวุลจะพัฒนาไปเป็นเมล็ดอยู่ภายในผลซึ่งพัฒนามาจากรังไข่ ผนังรังไข่จะเปลี่ยนแปลงไปเป็น**ผนังผล** (pericarp) ดังรูป 8.13



รูป 8.13 ดอกมะเขือและผลมะเขือ

ผนังผลอาจแบ่งได้เป็น 3 ชั้น คือ **ผนังผลชั้นนอก** (exocarp) **ผนังผลชั้นกลาง** (mesocarp) และ**ผนังผลชั้นใน** (endocarp) ผลบางชนิดสามารถแยกผนังผลออกเป็น 3 ชั้นได้ชัดเจน เช่น มะม่วง และมะพร้าว แต่ผลบางชนิดไม่สามารถแยกผนังผลชั้นต่าง ๆ ออกจากกันได้อย่างชัดเจน เช่น องุ่น และมะเขือเทศ ดังรูป 8.14



รูป 8.14 ผนังผล

ถ้าพิจารณาจากลักษณะของผนังผล สามารถแบ่งผลได้เป็น 2 กลุ่ม คือ ผลมีเนื้อและผลแห้ง ดังนี้

1. **ผลมีเนื้อ** เป็นผลที่มีผนังผลทั้งหมดหรือเกือบทั้งหมดเป็นเนื้อ ซึ่งเนื้ออาจอ่อนนุ่ม เมื่อเจริญเต็มที่ผนังผลมีลักษณะอวบน้ำ เช่น พุทรา ส้ม ละมุด และมะม่วง ดังรูป 8.15



รูป 8.15 ผลมีเนื้อ

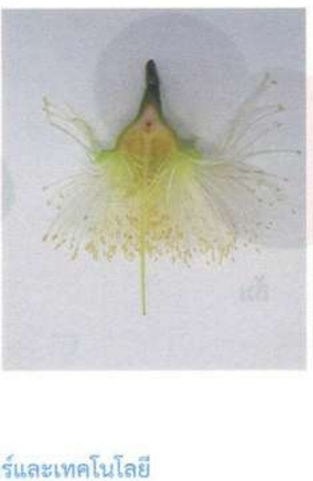
2. **ผลแห้ง** เป็นผลที่เมื่อเจริญเต็มที่หรือแก่แล้ว ผนังผลมีลักษณะแห้งแข็ง ไม่มีเนื้อเหลืออยู่ ซึ่งอาจจะแตกหรือไม่แตกขึ้นกับชนิดของผล ดังรูป 8.16



รูป 8.16 ผลแห้ง

รู้หรือไม่

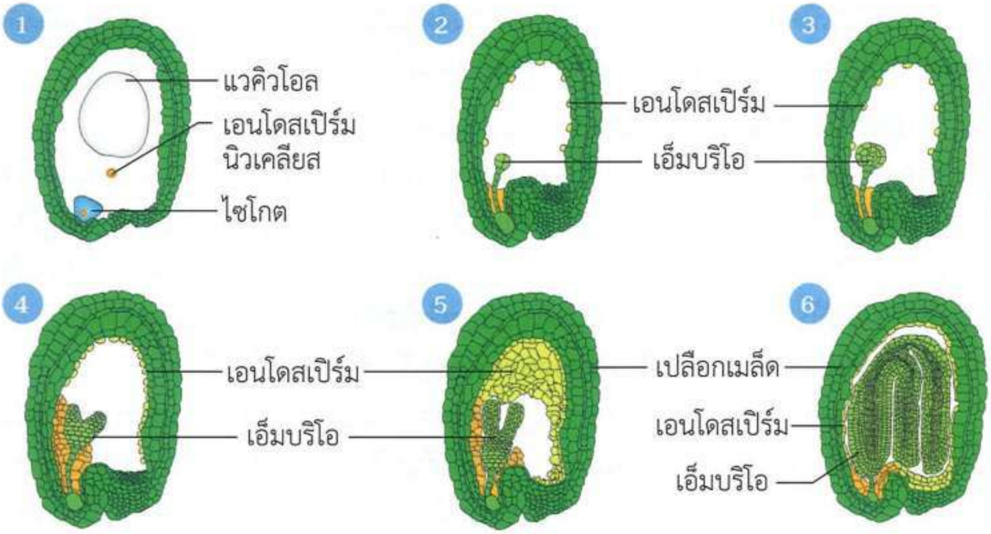
ผลพืชบางชนิดเป็นผลที่เจริญมาจากรังไข่ใต้วงกลีบ เช่น ชมพู่ ฝรั่ง แอปเปิล และสาลี่ อาจมีโครงสร้างส่วนอื่นของดอก เช่น ฐานดอกเจริญร่วมขึ้นมาเป็นส่วนหนึ่งของผล





เมล็ดและเอ็มบริโอ

การปฏิสนธิของพืชดอกเกิดขึ้นภายในออวุลทำให้เกิดไซโกตและเอนโดสเปิร์มนิวเคลียส จากนั้นไซโกตจะแบ่งเซลล์เพิ่มจำนวนมากขึ้น เพื่อพัฒนาเป็นเอ็มบริโอต่อไป ดังรูป 8.17 ออวุลจะพัฒนาไปเป็นเมล็ดอยู่ภายในผลซึ่งพัฒนามาจากรังไข่ ผนังออวุลจะเปลี่ยนไปเป็น**เปลือกเมล็ด** (seed coat) ซึ่งหุ้มล้อมรอบเอนโดสเปิร์มและเอ็มบริโอที่อยู่ภายในเอาไว้ ส่วนเนื้อเยื่อนิวเซลลัสจะหมดไปในระหว่างการพัฒนาของเมล็ด เนื่องจากนิวเซลลัสจะให้อาหารกับเซลล์อื่น



รูป 8.17 การเจริญและพัฒนาของเอ็มบริโอและเอนโดสเปิร์ม

? การแบ่งเซลล์ของเอ็มบริโอในรูป 8.17 เป็นการแบ่งเซลล์แบบใด ทราบได้อย่างไร

? การเจริญและการพัฒนาของเอ็มบริโอกับเอนโดสเปิร์มในเมล็ดพืชเกิดขึ้นไปพร้อม ๆ กันหรือไม่อย่างไร

รู้หรือไม่

ในผลไม้บางชนิด อาจจะไม่พบเมล็ดเจริญอยู่ภายในผล เนื่องจากรังไข่ของพืชบางชนิดอาจพัฒนาไปเป็นผลได้โดยไม่มีการปฏิสนธิ เช่น กล้วยหอมและกล้วยไข่



เมล็ดประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้

1. **เปลือกเมล็ด** (seed coat) เจริญมาจากผนังออวุล เป็นส่วนที่อยู่นอกสุดของเมล็ดทำหน้าที่ป้องกันเอ็มบริโอที่อยู่ภายในเมล็ด นอกจากนี้ในพืชบางชนิดเปลือกเมล็ดยังช่วยป้องกันไม่ให้เมล็ดงอกจนกว่าจะอยู่ในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม

ผิวของเปลือกเมล็ดมีรอยแผลเป็นเล็ก ๆ เรียกว่า **ไฮลัม** (hilum) ซึ่งเกิดจากก้านออวุลหลุดออกไป และที่ใกล้ ๆ ไฮลัมมีไมโครไพล์ ดังรูป 8.18 ซึ่งเป็นช่องเปิดขนาดเล็กให้น้ำเข้าสู่ภายในเมล็ด และเมื่อเมล็ดเริ่มงอก ส่วนที่เป็นรากแรกเกิดจะงอกผ่านออกมาทางไมโครไพล์



รูป 8.18 เมล็ดถั่วแดง

2. **เอ็มบริโอ** เจริญมาจากไซโกต ประกอบด้วยส่วนสำคัญ ดังนี้

รากแรกเกิด (radicle) เป็นส่วนปลายสุดของแกนเอ็มบริโอที่อยู่ทางด้านไมโครไพล์ เป็นส่วนแรกของเอ็มบริโอที่เจริญออกมาเมื่อเมล็ดมีการงอกและจะเจริญต่อไปเป็นรากปฐมภูมิของพืช

ลำต้นแรกเกิด (caulicle) คือส่วนแกนของเอ็มบริโอที่อยู่ถัดจากแรดิเคิลขึ้นไป ในถั่วมีลักษณะเป็นลำต้นสั้น ๆ ใต้ใบเลี้ยง เรียกว่า ลำต้นใต้ใบเลี้ยงหรือ**ไฮโพคอทิล** (hypocotyl)

ยอดแรกเกิด (plumule) เป็นส่วนยอดของเอ็มบริโอที่อยู่เหนือใบเลี้ยง

ใบเลี้ยง (cotyledon) ติดอยู่บนส่วนแกนหลักของเอ็มบริโอ ใบเลี้ยงของพืชบางชนิดมีลักษณะอวบหนาและมีเนื้อ เพราะมีการสะสมอาหารไว้เลี้ยงต้นกล้า เช่น ถั่วชนิดต่าง ๆ บัว มะขาม มะม่วง และมะพร้าว บางชนิดทำหน้าที่สังเคราะห์ด้วยแสงเพื่อสร้างอาหารให้กับต้นกล้าในระยะแรก ก่อนที่ใบแท้จะพัฒนาขึ้นมาได้เต็มที่

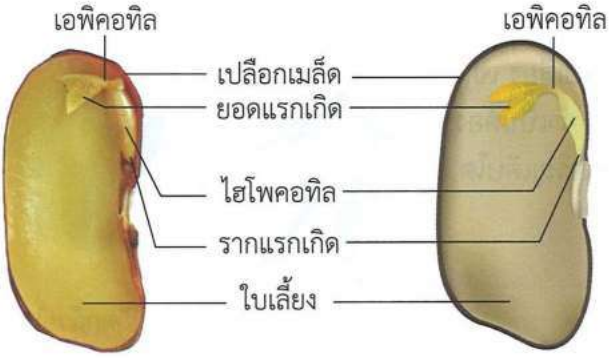
3. **เอนโดสเปิร์ม** เป็นเนื้อเยื่อที่ทำหน้าที่เก็บสะสมอาหารสำหรับการเจริญเติบโตของเอ็มบริโอ อาหารที่สะสมอาจจะเป็นแป้ง โปรตีน หรือลิพิด ขึ้นอยู่กับชนิดของพืช เช่น ข้าว ข้าวโพด และละหุ่ง เมล็ดพืชบางชนิดเอนโดสเปิร์มจะถูกใช้เป็นอาหารขณะที่เอ็มบริโอพัฒนา ดังนั้นเมื่อเมล็ดเจริญเต็มที่จะไม่พบเอนโดสเปิร์ม เช่น ถั่วชนิดต่าง ๆ ซึ่งใบเลี้ยงจะทำหน้าที่เก็บสะสมอาหารแทน ในเมล็ดกล้วยไม้บางชนิดเอนโดสเปิร์มไม่พัฒนา บางชนิดอาจมีเอนโดสเปิร์มเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย

ตรวจสอบความเข้าใจ

? ข้าวสารที่ผ่านการขัดสีเอารำข้าวออกไป จะทำให้จมูกข้าวหรือเอ็มบริโอซึ่งอยู่ที่ปลายเมล็ดข้าวหลุดออกไปด้วย ข้าวสารจะงอกเป็นต้นกล้าหรือไม่ เพราะเหตุใด

? ถ้าเมล็ดไม่มีเอนโดสเปิร์ม จะงอกเป็นต้นกล้าได้หรือไม่ เพราะเหตุใด

ส่วนประกอบต่าง ๆ ของเมล็ด เป็นดังรูป 8.19



ถั่ว ไฮโพคอทิล มีลักษณะเป็นลำต้นสั้น ๆ ใต้ใบเลี้ยง เมล็ดที่เริ่มงอกจะเห็นลำต้นที่อยู่เหนือใบเลี้ยง เรียกว่า**เอพิคอทิล** (epicotyl) และที่ส่วนปลายอาจมีใบแท้เกิดขึ้นแล้ว



ละหุ่ง โคนเมล็ดมีเนื้อเยื่อคล้ายฟองน้ำ ซึ่งเกิดจากก้านออวุลตำแหน่งที่ติดกับรังไข่ เรียกว่า **คารังเคิล** (caruncle) ทำหน้าที่ดูดน้ำหรือให้น้ำผ่านเข้าไปสู่เอ็มบริโอขณะที่เมล็ดงอก



ข้าวโพด มีเนื้อเยื่อหุ้มยอดแรกเกิด เรียกว่า **โคลีออพไทล์** (coleoptile) เจริญคลุมปลายยอดของเอ็มบริโอ และมีเนื้อเยื่อหุ้มรากแรกเกิด เรียกว่า **โคลีโอไรซา** (coleorhiza)

รูป 8.19 ส่วนประกอบของเมล็ด

รู้หรือไม่

เมล็ดพืชบางชนิดไม่มีเอนโดสเปิร์มและใบเลี้ยง เช่น กล้วยไม้ จึงไม่มีอาหารสะสมให้เอ็มบริโอ จำเป็นต้องอาศัยราไมคอร์ไรซาช่วยในการงอกและเจริญเติบโต

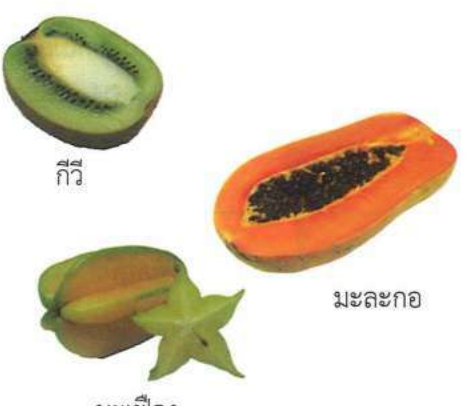


8.4 การใช้ประโยชน์จากโครงสร้างต่าง ๆ ของผลและเมล็ด

จากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงที่พืชใช้พลังงานแสงเพื่อสร้างสารอินทรีย์จากคาร์บอนไดออกไซด์กับน้ำ ซึ่งจะถูกนำไปสร้างเป็นน้ำตาลหรือถูกเก็บสะสมไว้ในรูปเม็ดแป้งหรือพอลิแซ็กคาไรด์ เช่น เซลลูโลส นอกจากนี้น้ำตาลอาจถูกนำไปสร้างเป็นสารอื่น ๆ เช่น กรดไขมันและกรดแอมิโน ซึ่งสารอินทรีย์เหล่านี้จะสะสมอยู่ในส่วนต่าง ๆ ของพืชเพื่อใช้ในการดำรงชีวิต เช่น ราก ลำต้น ใบ ผล และเมล็ด **มนุษย์ใช้ประโยชน์จากผลและเมล็ดในด้านใดบ้าง**

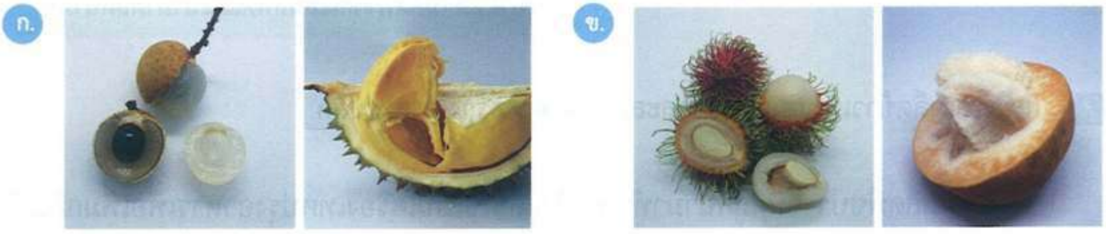
อาหาร

สารอินทรีย์ที่สะสมในผลหรือเมล็ดถูกนำมาใช้เป็นอาหารของมนุษย์ เช่น คาร์โบไฮเดรต ในผลมีเนื้อที่ผนังผลชั้นกลางและ/หรือชั้นในเป็นเนื้ออ่อนนุ่มรับประทานได้ แต่ไม่รับประทานผนังผลชั้นนอกที่ทำหน้าที่เป็นผิวผล ซึ่งเรียกโดยทั่วไปว่าเปลือก เช่น กีวี และมะละกอ หรือผลที่รับประทานผนังผลทั้ง 3 ชั้น เช่น มะเฟือง แตงกวา และมะเขือ ดังรูป 8.20



รูป 8.20 ผลมีเนื้อที่ผนังผลเป็นเนื้ออ่อนนุ่ม

ผลบางชนิดมีเนื้อที่ไม่ได้เป็นผนังผล แต่เป็นเนื้อที่เกิดจากส่วนของเมล็ดหุ้มอยู่รอบนอกของเมล็ด เรียกว่า **เยื่อหุ้มเมล็ด** (aril) ซึ่งเป็นส่วนที่รับประทานได้ อย่างไรก็ตามจะมีความแตกต่างของเยื่อหุ้มเมล็ด กล่าวคือ ในผลบางชนิด ส่วนเยื่อหุ้มเมล็ดที่แยกออกจากเมล็ดได้ง่าย เนื่องจากเยื่อหุ้มเมล็ดเจริญมาจากส่วน**ก้านเมล็ด** (funiculus) เช่น ลำไย ลิ้นจี่ และทุเรียน ดังรูป 8.21 ก. แต่ในผลบางชนิดส่วนเยื่อหุ้มเมล็ดที่ติดกับเปลือกเมล็ดแยกออกจากกันไม่ได้ เนื่องจากเยื่อหุ้มเมล็ดเจริญมาจากเปลือกเมล็ด เช่น เงาะ มังคุด กระท้อน และลางสาด ดังรูป 8.21 ข.



ลำไย ทุเรียน เงาะ กระท้อน

รูป 8.21 เยื่อหุ้มเมล็ด
ก. เยื่อหุ้มเมล็ดที่แยกออกจากเมล็ดได้ ข. เยื่อหุ้มเมล็ดที่แยกออกจากเมล็ดไม่ได้

นอกจากนี้มนุษย์ยังนำส่วนอื่น ๆ ของเมล็ดมาเป็นอาหารได้ ซึ่งเป็นส่วนที่เมล็ดพืชสะสมอาหารไว้สำหรับเลี้ยงต้นกล้าอาจเป็นคาร์โบไฮเดรต โปรตีน และลิพิด เช่น แป้งจากข้าวชนิดต่าง ๆ ลูกเดือย และถั่วเขียว ดังรูป 8.22 และน้ำมันจากเมล็ดพืช ดังรูป 8.23



ข้าวเจ้า ข้าวสาลี ลูกเดือย ถั่วเขียว

รูป 8.22 เมล็ดพืชที่สะสมคาร์โบไฮเดรตและนำมาผลิตแป้ง



ถั่วเหลือง งา ทานตะวัน มะพร้าว

รูป 8.23 เมล็ดพืชที่สะสมลิพิดและนำมาผลิตน้ำมัน

? แป้งในเมล็ดข้าวเจ้าและถั่วเขียวสะสมอยู่ที่โครงสร้างใดของเมล็ด

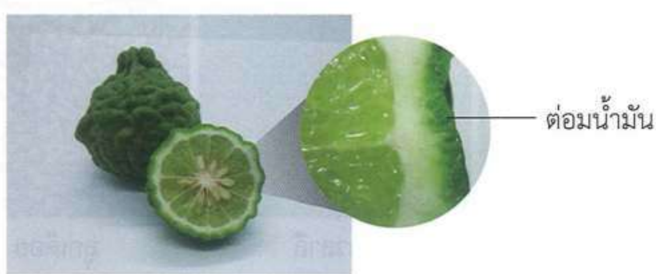
ผลและเมล็ดพืชบางชนิดถูกนำมาทำให้แห้งและใช้เป็นเครื่องเทศปรุงอาหารเพื่อเพิ่มกลิ่น สี และรสชาติได้ เช่น ผลโป๊ยกั๊ก เมล็ดพริกไทย และเมล็ดจันทน์เทศ ดังรูป 8.24 ก. นอกจากนี้ผลของพืชบางชนิดที่ผนังผลชั้นนอกจะมีต่อมน้ำมันที่มีน้ำมันหอมระเหย เช่น มะกรูดและมะนาว ซึ่งนำมาใช้ปรุงอาหาร ดังรูป 8.24 ข. รวมทั้งสามารถนำมาสกัดน้ำมันหอมระเหยเพื่อใช้ประโยชน์ด้านอื่น ๆ ได้

ก.



ผลโป๊ยกั๊ก เมล็ดพริกไทย

ข.



ผลมะกรูด

รูป 8.24 ผลและเมล็ดพืชที่มีกลิ่น
ก. ผลและเมล็ดที่ใช้เป็นเครื่องเทศ ข.ผลที่มีต่อมน้ำมันที่ผิว

เส้นใย

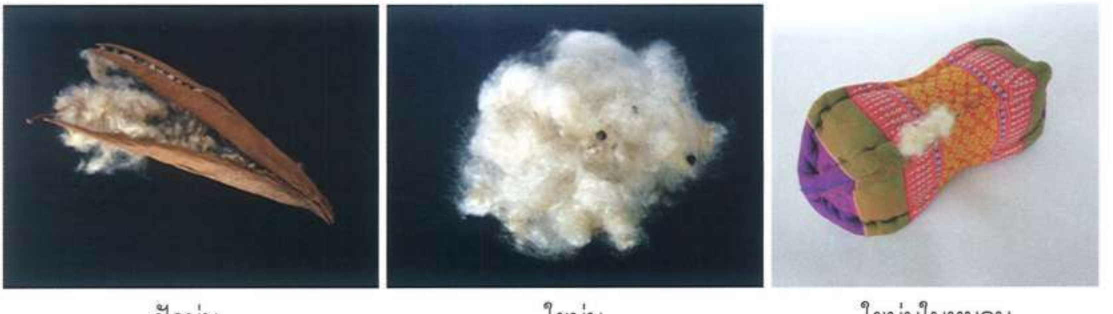
เมล็ดพืชบางชนิดมีส่วนที่เป็นเส้นใยเซลลูโลส เช่น เส้นใยฝ้ายที่เป็นส่วนของเมล็ดที่อยู่ภายในผล ซึ่งเส้นใยนี้มีลักษณะแบนค่อนข้างตันและมีผนังเซลล์หนา เส้นใยเกาะพันกันทำให้มีความเหนียวและแข็งแรง นิยมนำไปปั่นเป็นเส้นด้ายเพื่อใช้ทอผ้า ดังรูป 8.25



ผลฝ้ายที่แตกเห็นใยสีขาวที่หุ้มเมล็ด | เส้นด้ายจากใยฝ้าย | ผ้าฝ้าย

รูป 8.25 ฝ้ายและผลิตภัณฑ์จากฝ้าย

เส้นใยนุ่นเป็นส่วนของเมล็ดที่อยู่ภายในฝักซึ่งเป็นผลที่มีลักษณะปลายเรียว การใช้ประโยชน์จะนำส่วนที่อยู่ภายในฝักมาแยกส่วนของเส้นใยออกจากเมล็ด เส้นใยนุ่นมีลักษณะกลวงจึงมีความเหนียวน้อย นอกจากนี้เส้นใยนุ่นยังมีลักษณะของเส้นใยที่สั้นมาก ทำให้ไม่สามารถนำไปปั่นเป็นด้ายเพื่อใช้ทอผ้า เส้นใยนุ่นมีน้ำหนักเบาและมีไขมันเคลือบอยู่จึงไม่เปียกน้ำง่าย นิยมใช้เส้นใยนุ่นใส่ในหมอนและที่นอน ดังรูป 8.26



ฝักนุ่น | ใยนุ่น | ใยนุ่นในหมอน

รูป 8.26 นุ่นและผลิตภัณฑ์จากนุ่น

กิจกรรม 8.3 ผลิตภัณฑ์จากดอก ผล และเมล็ด

จุดประสงค์

สืบค้นข้อมูลและยกตัวอย่างการใช้ประโยชน์จากโครงสร้างต่าง ๆ ของดอก ผล และเมล็ด

วิธีการทำกิจกรรม

1. สมมติบทบาทให้นักเรียนเป็นผู้ขายของออนไลน์ต้องการนำเสนอขายผลิตภัณฑ์จากธรรมชาติ โดยให้ศึกษาผลิตภัณฑ์ในท้องถิ่นหรือผลิตภัณฑ์ที่นักเรียนสนใจซึ่งทำมาจากดอก ผล และเมล็ดพืช
2. เลือกผลิตภัณฑ์ 1 ชนิดและเขียนคำโฆษณาขายสินค้าในรูปแบบต่างๆ เช่น infographic เพื่อลงในเว็บไซต์ โดยให้ข้อมูลเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ เช่น ชื่อผลิตภัณฑ์ ชนิดพืชและโครงสร้างหรือองค์ประกอบที่นำมาใช้ในการผลิต และประโยชน์ของผลิตภัณฑ์นี้

ผลและเมล็ดพืชต่างชนิดกันจะมีส่วนประกอบบางอย่างที่เหมือนกันและบางอย่างที่แตกต่างกัน เมื่อเมล็ดงอกก็จะเจริญเติบโตเป็นต้นพืชมีโครงสร้างที่เหมาะสมสำหรับทำหน้าที่ต่าง ๆ ซึ่งนักเรียนจะได้เรียนในบทต่อไป

สรุปเนื้อหาภายในบทเรียน

1. พืชดอกมีการสร้างดอกเพื่อใช้ในการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศ
2. ภายหลังการปฏิสนธิ ออวุลจะมีการเจริญและพัฒนาเป็นเมล็ด ส่วนรังไข่จะเจริญและพัฒนาไปเป็นผล
3. การเจริญเป็นผลชนิดต่าง ๆ เกี่ยวข้องกับจำนวนดอกบนก้านดอกและจำนวนรังไข่
4. พืชมีวัฏจักรชีวิตแบบสลับประกอบด้วยสปอโรไฟต์และแกมีโทไฟต์
5. ดอกสร้างสปอร์ 2 ชนิด คือไมโครสปอร์และเมกะสปอร์ที่จะพัฒนาไปเป็นเรณูและถุงเอ็มบริโอตามลำดับ
6. เรณูเป็นแกมีโทไฟต์เพศผู้และถุงเอ็มบริโอเป็นแกมีโทไฟต์เพศเมียซึ่งมีหน้าที่สร้างเซลล์สืบพันธุ์
7. เมื่อเรณูตกบนยอดเกสรเพศเมียจะงอกหลอดเรณู สเปิร์มเคลื่อนที่ในหลอดเรณูเข้าไปในออวุล
8. พืชดอกมีการปฏิสนธิคู่ได้ไซโกตและเอนโดสเปิร์มนิวเคลียส โดยสเปิร์มเซลล์หนึ่งรวมกับเซลล์ไข่ได้เป็นไซโกตที่จะเจริญและพัฒนาไปเป็นเอ็มบริโออยู่ภายในเมล็ด ส่วนสเปิร์มอีกเซลล์หนึ่งรวมกับโพลาร์นิวคลีไอได้เป็นเอนโดสเปิร์มนิวเคลียสที่จะเจริญและพัฒนาไปเป็นเอนโดสเปิร์ม
9. โครงสร้างของผลประกอบด้วยผนังผลและเมล็ด โครงสร้างของเมล็ดประกอบด้วยเปลือกเมล็ด เอ็มบริโอ และเอนโดสเปิร์ม
10. โครงสร้างแต่ละส่วนของผลและเมล็ดมีประโยชน์ต่อมนุษย์ในด้านต่าง ๆ

แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 8

1. จงใส่เครื่องหมายถูก (√) หน้าข้อความที่ถูกต้อง ใส่เครื่องหมายผิด (×) หน้าข้อความที่ไม่ถูกต้อง และขีดเส้นใต้เฉพาะคำหรือส่วนของข้อความที่ไม่ถูกต้อง และแก้ไขโดยตัดออกหรือเติมคำหรือข้อความที่ถูกต้องลงในช่องว่าง

.... 1.1 หลังการปฏิสนธิ ออวุลเจริญและพัฒนาเป็นเมล็ด รังไข่เจริญและพัฒนาเป็นผล

....

.... 1.2 ผลเดี่ยว เป็นผลที่เปลี่ยนแปลงมาจากดอก 1 ดอก ที่มี 1 รังไข่ ได้เป็น 1 ผล

....

.... 1.3 พืชดอกมีวัฏจักรชีวิตแบบสลับ ประกอบด้วยสปอโรไฟต์ซึ่งเป็นระยะที่สร้างสปอร์และแกมีโทไฟต์ซึ่งเป็นระยะที่สร้างเซลล์สืบพันธุ์

....

.... 1.4 พืชดอกสร้างสปอร์ 2 แบบ คือ เมกะสปอร์ที่เกสรเพศผู้ และไมโครสปอร์ที่เกสรเพศเมีย

....

.... 1.5 ไมโครสปอร์ภายในอับเรณูแบ่งเซลล์แบบไมโอซิสได้ 2 เซลล์ คือ เจเนอเรทิฟเซลล์และทิวบ์เซลล์ เรียกโครงสร้างที่มี 2 เซลล์นี้ว่า เรณู

....

.... 1.6 ถุงเอ็มบริโอที่เจริญเต็มที่ประกอบด้วยแอนติโพแดล 3 เซลล์ เซนทรัลเซลล์ 1 เซลล์ที่มี 2 นิวเคลียส เซลล์ไข่ 1 เซลล์ และซินเนอร์จิด 2 เซลล์

....

.... 1.7 ไมโครไพล์ คือช่องเปิดที่ผนังของออวุลเป็นทางผ่านเข้าไปของหลอดเรณู เมื่อเกิดการปฏิสนธิและเป็นทางผ่านของรากแรกเกิดเมื่อมีการงอกของเมล็ด

....

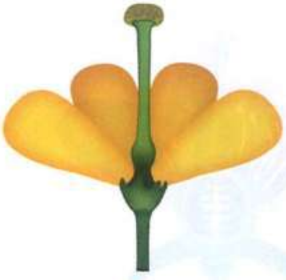
.... 1.8 การปฏิสนธิคู่ของพืชดอกเกิดขึ้น เมื่อสเปิร์มเซลล์หนึ่งเข้าปฏิสนธิกับเซลล์ไข่ได้เป็นไซโกต ซึ่งจะพัฒนาต่อไปเป็นเอ็มบริโอ และสเปิร์มอีกเซลล์หนึ่งเข้าปฏิสนธิกับโพลาร์นิวคลีไอได้เป็นเอนโดสเปิร์มนิวเคลียสซึ่งจะพัฒนาต่อไปเป็นเอนโดสเปิร์ม

....

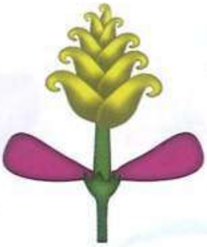
.... 1.9 แหล่งสะสมอาหารสำหรับการเจริญเติบโตของเอ็มบริโอ คือใบเลี้ยงและเอนโดสเปิร์ม

....

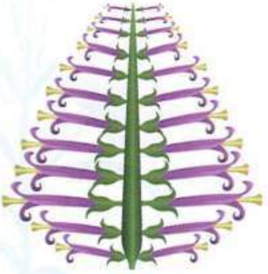
2. จับคู่ดอกและผล พร้อมทั้งอธิบายว่าเพราะเหตุใดดอกที่กำหนดให้จึงเจริญไปเป็นผลที่นักเรียนเลือก



ก.



ข.

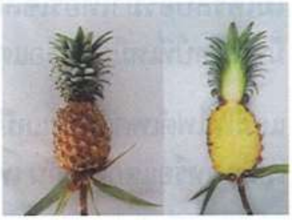


ค.

2.1 ....



2.2 ....



2.3 ....



2.4 ....



2.5 ....



2.6 ....



3. ต้นไม้ชนิดหนึ่งมีดอกเป็นดอกสมบูรณ์เพศ จงตอบคำถามต่อไปนี้



3.1 ไมโครสปอร์มาเทอร์เซลล์และเมกะสปอร์มาเทอร์เซลล์ของดอกทุกดอกบนต้นนี้ มีจีโนไทป์ที่เหมือนหรือแตกต่างกัน เพราะเหตุใด

3.2 แกมีโทไฟต์เพศผู้และแกมีโทไฟต์เพศเมียที่อยู่ภายในดอกเดียวกัน มีชุดของแอลลีลที่เหมือนหรือแตกต่างกัน เพราะเหตุใด

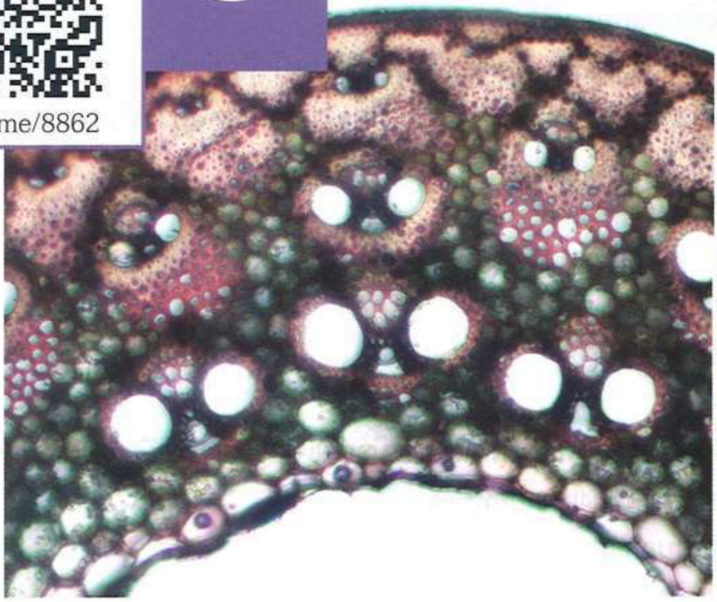
3.3 จากไมโครสปอร์มาเทอร์เซลล์ 1 เซลล์ จะได้เรณูจำนวนเท่าใด และเรณูทั้งหมดนั้น มีชุดของแอลลีลที่เหมือนหรือแตกต่างกัน เพราะเหตุใด

3.4 ในการพัฒนาเป็นผล กลีบดอกและเกสรเพศผู้จะหลุดร่วงหลังการปฏิสนธิ มีจำนวนออวุลทั้งหมด ดังที่เห็นในรูป ให้วาดรูปผลและเมล็ดโดยให้มีจำนวนเมล็ดในผลมากที่สุดเท่าที่จะมีได้

3.5 ถ้ามีเรณูจำนวนมากตกบนยอดเกสรเพศเมีย แต่มีเพียง 5 เรณูที่งอกหลอดเรณูลงไปถึงถุงเอ็มบริโอและมีสเปิร์มผสมกับเซลล์ไข่ได้สำเร็จ เมื่อรังไข่ของดอกนี้พัฒนาไปเป็นผลจะมีเมล็ดกี่เมล็ด เพราะเหตุใด

บทที่ 9 | โครงสร้างและการเจริญเติบโตของพืชดอก

ipst.me/8862







ไผ่เป็นพืชที่นิยมนำมาใช้ผลิตเป็นเครื่องจักสาน เพราะลำต้นไผ่มีความเหนียว ยืดหยุ่น สามารถดัดหรือสานเป็นรูปร่างได้ตามต้องการ อีกทั้งยังสามารถย้อมติดสีได้ง่าย นอกจากไผ่ยังมีพืชอื่นที่นิยมนำมาใช้ในด้านอื่น ๆ เช่น ยางพารา ใช้เป็นเครื่องเรือน คะน้า กวางตุ้ง และผักชี ใช้เป็นอาหาร นอกจากประโยชน์ที่กล่าวมาแล้วยังมีการใช้ประโยชน์ด้านอื่น ๆ อีกด้วย

การศึกษาโครงสร้างภายในของอวัยวะต่าง ๆ ของพืชจะช่วยให้เข้าใจการใช้ประโยชน์ที่แตกต่างกันข้างต้น และสามารถนำไปศึกษาต่อยอดในการหาพืชชนิดอื่นเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ให้เหมาะสมกับการใช้งานด้านต่าง ๆ ได้ **โครงสร้างภายในของพืชมีการจัดเรียงตัวของเนื้อเยื่อในแต่ละอวัยวะอย่างไร และสัมพันธ์กับการทำหน้าที่ของอวัยวะต่าง ๆ อย่างไร**

คำถามสำคัญ

1. **เนื้อเยื่อเจริญมีความสัมพันธ์กับเนื้อเยื่อถาวรของพืชดอก และมีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของพืชดอกอย่างไร**
2. **โครงสร้างของราก ลำต้น และใบ มีความสัมพันธ์กับหน้าที่อย่างไร**
3. **การทำหน้าที่ร่วมกันของราก ลำต้น และใบ มีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของพืชอย่างไร**

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. อธิบายลักษณะและหน้าที่ และระบุบริเวณที่พบเนื้อเยื่อเจริญและเนื้อเยื่อถาวรของพืชดอก
2. เขียนแผนผังเพื่อสรุปชนิดของเนื้อเยื่อพืชดอก
3. อธิบายโครงสร้างภายนอก และบอกหน้าที่ของรากพืชดอก
4. สังเกต และอธิบายโครงสร้างของปลายรากตัดตามยาว
5. สังเกต อธิบาย และเปรียบเทียบโครงสร้างภายในของรากพืชใบเลี้ยงคู่และรากพืชใบเลี้ยงเดี่ยวตัดตามขวาง
6. อธิบายโครงสร้างภายนอก และบอกหน้าที่ของลำต้นพืชดอก
7. สังเกต และอธิบายโครงสร้างของปลายยอดตัดตามยาว
8. สังเกต อธิบาย และเปรียบเทียบโครงสร้างภายในของลำต้นพืชใบเลี้ยงคู่และลำต้นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวตัดตามขวาง
9. อธิบายโครงสร้างภายนอก และบอกหน้าที่ของใบพืชดอก
10. สังเกต และอธิบายโครงสร้างภายในของใบพืชตัดตามขวาง

ตรวจสอบความรู้ก่อนเรียน

ให้นักเรียนใส่เครื่องหมายถูก (√) หรือผิด (×) หน้าข้อความตามความเข้าใจของนักเรียน

1. เซลล์พืชทุกชนิดมีผนังเซลล์หุ้มอยู่ด้านนอกของเยื่อหุ้มเซลล์
2. เซลล์ทุกชนิดของพืชมีคลอโรพลาสต์
3. เซลลูโลสเป็นโครงสร้างหลักของผนังเซลล์พืช
4. พืชดูดน้ำและธาตุอาหารผ่านทางเซลล์ขนราก
5. ราก ลำต้น และใบ เป็นอวัยวะที่ไม่เกี่ยวข้องโดยตรงกับการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศของพืชดอก
6. พืชใบเลี้ยงเดี่ยวที่เจริญเติบโตเต็มที่มีรากแก้ว
7. รากทำหน้าที่ช่วยยึดโครงสร้างของลำต้นพืชให้ติดอยู่กับดินหรือวัสดุปลูก
8. ลำต้นทำหน้าที่ลำเลียงน้ำ ธาตุอาหาร และอาหาร ไปยังส่วนต่าง ๆ ของพืช

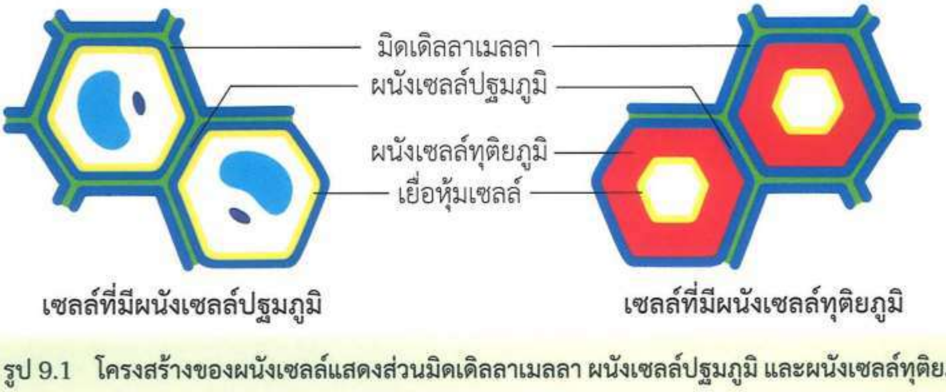
พืชดอกประกอบด้วยเซลล์หลายชนิดทำงานร่วมกันและมีการจัดระบบเช่นเดียวกับมนุษย์และสัตว์โดยมีเซลล์เป็นหน่วยพื้นฐานของสิ่งมีชีวิต เนื้อเยื่อเกิดจากการทำงานร่วมกันของเซลล์หลายเซลล์เพื่อทำหน้าที่เฉพาะ โดยกลุ่มของเนื้อเยื่อต่าง ๆ จะจัดเรียงตัวเพื่อให้สามารถทำงานประสานกันเป็นอวัยวะ เช่น ราก ลำต้น ใบ ทำให้พืชดำรงชีวิตและสืบพันธุ์ได้ **ราก ลำต้น และใบประกอบด้วยเนื้อเยื่ออะไรบ้าง เนื้อเยื่อแต่ละชนิดมีลักษณะและทำหน้าที่เหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร**

9.1 เนื้อเยื่อพืช

ipst.me/9190

เนื้อเยื่อพืช (plant tissue) เป็นกลุ่มของเซลล์พืชที่มีการเจริญและเปลี่ยนแปลงเพื่อทำหน้าที่เฉพาะ โดยเซลล์พืชแต่ละชนิดมีลักษณะที่แตกต่างกัน แต่มีลักษณะร่วมที่สำคัญประการหนึ่งคือการมีผนังเซลล์ล้อมอยู่รอบนอกที่ให้ความแข็งแรงแก่โครงสร้างเซลล์พืช ผนังเซลล์ ประกอบด้วยมิดเดิลลาเมลลา ผนังเซลล์ปฐมภูมิ และผนังเซลล์ทุติยภูมิ ดังรูป 9.1

- **มิดเดิลลาเมลลา** (middle lamella) เป็นผนังเซลล์ที่สร้างเป็นลำดับแรกหลังจากการเกิด **แผ่นกั้นเซลล์** (cell plate) มิดเดิลลาเมลลาประกอบด้วยเพกทินเป็นหลัก
- **ผนังเซลล์ปฐมภูมิ** (primary cell wall หรือ primary wall) อยู่ถัดจากมิดเดิลลาเมลลาเข้ามาด้านใน มีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบหลัก การเจริญถึงขั้นสร้างผนังเซลล์ปฐมภูมิพบในเซลล์พืชทุกชนิด
- **ผนังเซลล์ทุติยภูมิ** (secondary cell wall หรือ secondary wall) พบในเซลล์พืชบางชนิด ประกอบด้วยเซลลูโลสและลิกนิน โดยลิกนินเป็นองค์ประกอบสำคัญที่ช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้กับเซลล์พืช นอกจากนี้เซลล์บางชนิดอาจพบซูเบอรินช่วยป้องกันการระเหยของน้ำ สารเหล่านี้สะสมอยู่ถัดเข้ามาด้านในของผนังเซลล์ปฐมภูมิ



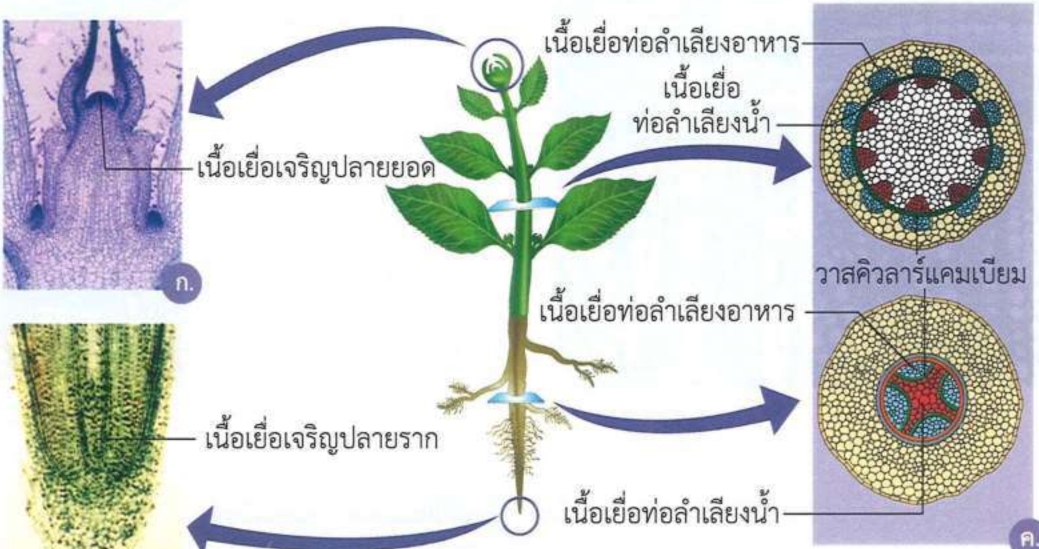
รูป 9.1 โครงสร้างของผนังเซลล์แสดงส่วนมิดเดิลลาเมลลา ผนังเซลล์ปฐมภูมิ และผนังเซลล์ทุติยภูมิ

เนื้อเยื่อพืชแบ่งตามความสามารถในการแบ่งเซลล์ได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ เนื้อเยื่อเจริญ และเนื้อเยื่อถาวร **เนื้อเยื่อเจริญและเนื้อเยื่อถาวรพบที่ส่วนใดของพืช เนื้อเยื่อแต่ละชนิดมีหน้าที่ซึ่งมีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของพืชดอกอย่างไร**

9.1.1 เนื้อเยื่อเจริญ

เนื้อเยื่อเจริญ (meristematic tissue หรือ meristem) ประกอบด้วย**เซลล์เจริญ** (meristematic cell) ซึ่งเป็นกลุ่มเซลล์ที่มีผนังเซลล์ปฐมภูมิบาง มีความหนาสม่ำเสมอกัน ส่วนใหญ่มีนิวเคลียสขนาดใหญ่เมื่อเทียบกับขนาดของเซลล์ และมีการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสเพื่อเพิ่มจำนวนได้ตลอดชีวิตของเซลล์ เซลล์ที่ได้จากการแบ่งเซลล์ส่วนหนึ่งจะเปลี่ยนแปลงเป็นเนื้อเยื่อถาวรเพื่อทำหน้าที่เฉพาะต่อไป และอีกส่วนหนึ่งยังคงเป็นเนื้อเยื่อเจริญ ซึ่งแบ่งตามตำแหน่งที่อยู่ได้เป็น 3 ประเภท คือ

1. **เนื้อเยื่อเจริญส่วนปลาย** (apical meristem) พบได้ 2 บริเวณ ถ้าพบที่บริเวณปลายยอดเรียกว่า **เนื้อเยื่อเจริญปลายยอด** (apical shoot meristem) มีหน้าที่แบ่งเซลล์ทำให้ลำต้นและกิ่งยาวขึ้นรวมทั้งสร้างลำต้น กิ่ง และใบ ดังรูป 9.2 ก. ถ้าพบที่บริเวณปลายรากเรียกว่า **เนื้อเยื่อเจริญปลายราก** (apical root meristem) มีหน้าที่แบ่งเซลล์ทำให้รากยาวขึ้น ดังรูป 9.2 ข. การเจริญเติบโตที่เกิดจากการแบ่งเซลล์ของเนื้อเยื่อเจริญส่วนปลายจัดเป็น**การเติบโตปฐมภูมิ** (primary growth)

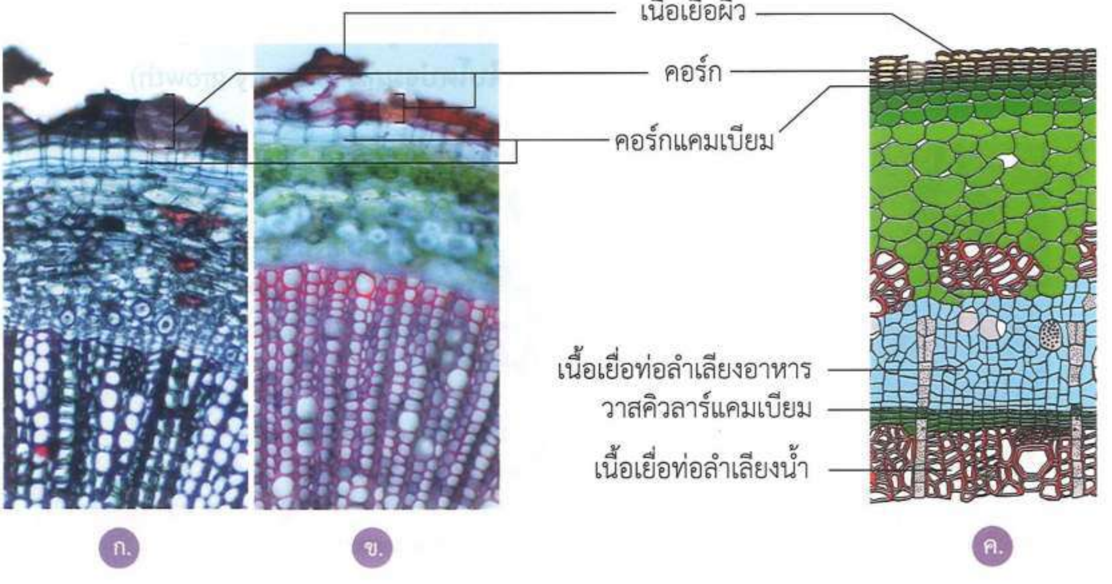


รูป 9.2 เนื้อเยื่อเจริญของพืช
ก. เนื้อเยื่อเจริญปลายยอด ข. เนื้อเยื่อเจริญปลายราก ค. รูปวาดวาสคิวลาร์แคมเบียม

2. **เนื้อเยื่อเจริญด้านข้าง** (lateral meristem) อยู่ในแนวขนานกับเส้นรอบวงมีการแบ่งเซลล์เพิ่มจำนวนออกทางด้านข้างทำให้รากและลำต้นขยายขนาดใหญ่ขึ้น การเจริญเติบโตที่เกิดจากการแบ่งเซลล์ที่ได้จากเนื้อเยื่อเจริญด้านข้างจัดเป็น**การเติบโตทุติยภูมิ** (secondary growth) พบได้ในรากและลำต้นของพืชใบเลี้ยงคู่ทั่วไป เนื้อเยื่อเจริญด้านข้างเรียกอีกอย่างว่า **แคมเบียม** (cambium) แบ่งตามการทำหน้าที่ได้เป็น 2 ประเภทคือ

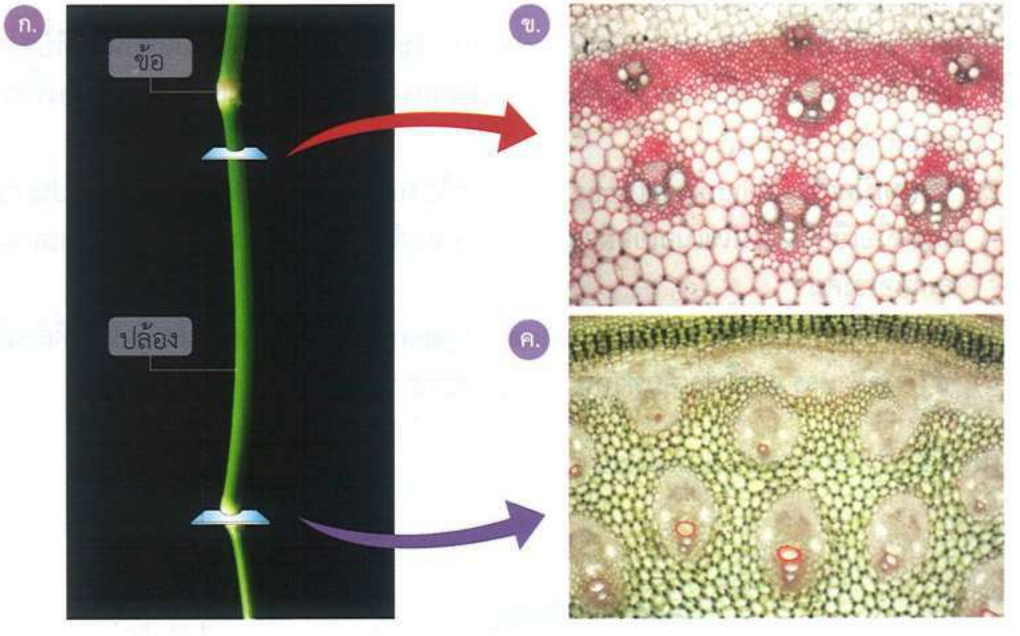
2.1 **วาสคิวลาร์แคมเบียม** (vascular cambium) มีหน้าที่แบ่งเซลล์ทำให้เกิด**เนื้อเยื่อท่อลำเลียง** (vascular tissue) เพิ่มขึ้นในการเติบโตทุติยภูมิ วาสคิวลาร์แคมเบียมพบอยู่ระหว่างเนื้อเยื่อท่อลำเลียงน้ำและท่อลำเลียงอาหาร ดังรูป 9.2 ค. และ 9.3 ค.

2.2 **คอร์กแคมเบียม** (cork cambium) มีหน้าที่แบ่งเซลล์ให้**คอร์ก** (cork) และเนื้อเยื่ออื่น ๆ เพื่อทำหน้าที่แทนเนื้อเยื่อผิวเดิมในการเติบโตทุติยภูมิในพืชบางชนิด คอร์กแคมเบียมพบอยู่ถัดจากคอร์กเข้าไปด้านใน ดังรูป 9.3



รูป 9.3 วาสคิวลาร์แคมเบียมและคอร์กแคมเบียม
ก. คอร์กแคมเบียมและคอร์กจากรากต้นโมก
ข. คอร์กแคมเบียมและคอร์กจากลำต้นต้นโมก
ค. รูปวาดแสดงตำแหน่งวาสคิวลาร์แคมเบียมและคอร์กแคมเบียม

3. **เนื้อเยื่อเจริญเหนือข้อ** (intercalary meristem) มีหน้าที่แบ่งเซลล์เพิ่มจำนวนทำให้ปล้องของพืชใบเลี้ยงเดี่ยวยืดยาว เป็นเนื้อเยื่อส่วนที่อยู่โคนปล้องหรือเหนือข้อ ดังรูป 9.4 ค. ซึ่งยังแบ่งเซลล์ได้ยาวนานกว่าเนื้อเยื่อส่วนอื่นของปล้องที่หยุดเจริญไปก่อนแล้ว ดังรูป 9.4 ข. พบในลำต้นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวทั่วไป เช่น หญ้า ข้าว ข้าวโพด อ้อย ไผ่



รูป 9.4 เนื้อเยื่อของลำต้นหญ้าขน

ก. ตำแหน่งของลำต้นที่ตัดพบเนื้อเยื่อเจริญเหนือข้อ (ลูกศรสีม่วง) และเนื้อเยื่อถาวร (ลูกศรสีแดง)

ข. เนื้อเยื่อถาวรจากลำต้นตัดตามขวาง

ค. เนื้อเยื่อเจริญเหนือข้อจากลำต้นตัดตามขวาง

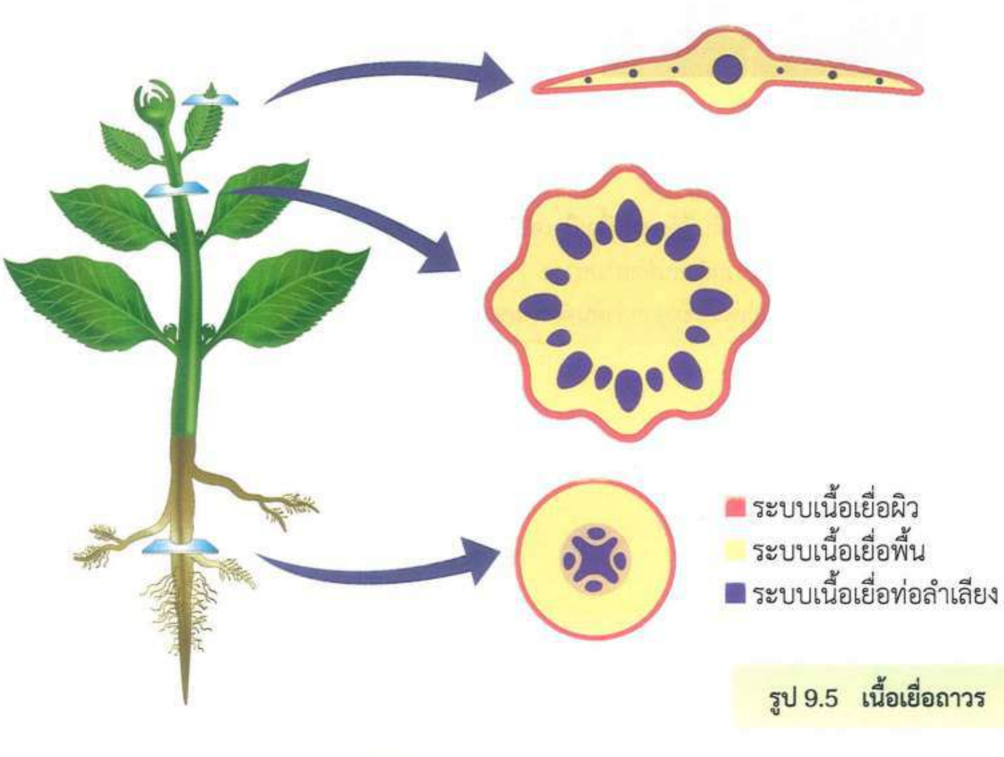
9.1.2 เนื้อเยื่อถาวร

เนื้อเยื่อถาวร (permanent tissue) เปลี่ยนแปลงมาจากเนื้อเยื่อเจริญ ประกอบด้วยเซลล์ที่เจริญเต็มที่ มีรูปร่างคงที่ ทำหน้าที่ต่าง ๆ ตามลักษณะโครงสร้างของเซลล์ ส่วนใหญ่จะไม่สามารถแบ่งเซลล์ได้อีกต่อไป

เนื้อเยื่อถาวรแบ่งตามหน้าที่ได้เป็น 3 ระบบ คือ

1. **ระบบเนื้อเยื่อผิว** (dermal tissue system) ประกอบด้วยเอพิเดอร์มิสทำหน้าที่ป้องกันเนื้อเยื่อด้านในของพืช และเพริเดิร์ม (periderm) เจริญขึ้นมาแทนเอพิเดอร์มิสของทั้งรากและลำต้น
2. **ระบบเนื้อเยื่อพื้น** (ground tissue system หรือ fundamental tissue system) ประกอบด้วยเนื้อเยื่ออื่นที่ไม่ใช่เนื้อเยื่อผิวและเนื้อเยื่อท่อลำเลียง ได้แก่ พาเรงคิมา คอลเลงคิมา สเกลอเรงคิมา
3. **ระบบเนื้อเยื่อท่อลำเลียง** (vascular tissue system) ประกอบด้วยไซเล็มทำหน้าที่ลำเลียงน้ำ ธาตุอาหาร และโฟลเอ็มทำหน้าที่ลำเลียงอาหาร

เนื้อเยื่อถาวรทั้ง 3 ระบบ แสดงดังรูป 9.5



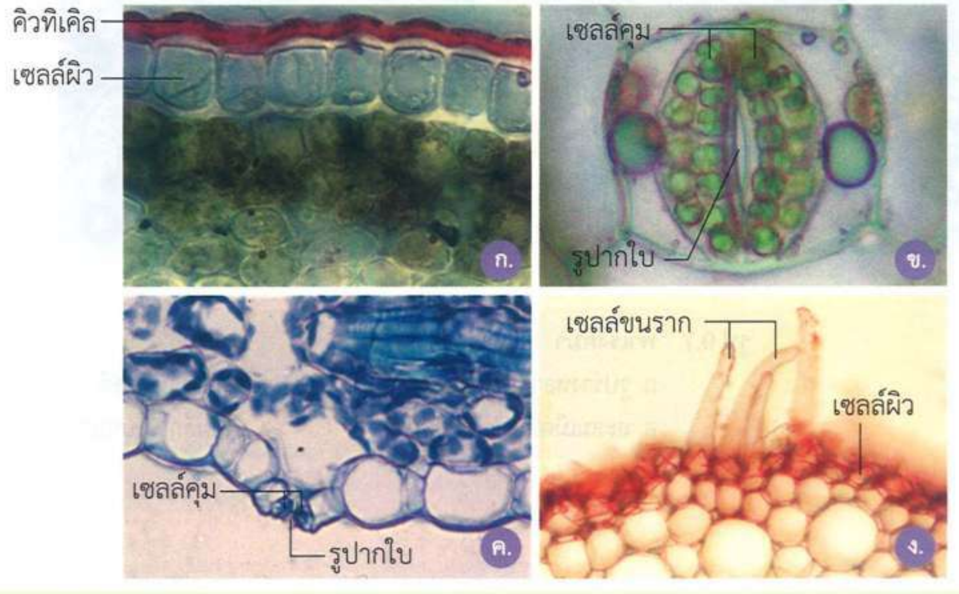
รูป 9.5 เนื้อเยื่อถาวร

เนื้อเยื่อถาวรที่มีหน้าที่สำคัญต่อการดำรงชีวิตของพืช เช่น

1. **เอพิเดอร์มิส** (epidermis) หรือเนื้อเยื่อชั้นผิว เป็นเนื้อเยื่อที่อยู่ชั้นนอกสุดของพืช ทำหน้าที่ป้องกันเนื้อเยื่อด้านใน

เอพิเดอร์มิสของลำต้น และใบส่วนใหญ่มีความหนาเพียง 1 ชั้น ประกอบด้วยเซลล์ที่มีชีวิตหลายชนิด ได้แก่ **เซลล์ผิว** (epidermal cell) ซึ่งมีชั้น**คิวทิเคิล** (cuticle) ดังรูป 9.6 ก.ประกอบด้วยสาร**คิวทิน** (cutin) เป็นหลัก เคลือบผิวด้านที่สัมผัสอากาศเพื่อลดการระเหยน้ำ **เซลล์คุม** (guard cell) เป็นเซลล์ที่มีรูปร่างคล้ายไตหรือเมล็ดถั่วแดง อยู่เป็นคู่ประกบกัน มีช่องตรงกลาง เรียกว่า **รูปากใบ** (stomatal pore) ภายในเซลล์คุมมีคลอโรพลาสต์ รวมเรียกเซลล์คุมและรูปากใบว่า**ปากใบ** (stoma) ดังรูป 9.6 ข.และ ค. นอกจากนี้อาจพบขนบริเวณเอพิเดอร์มิส

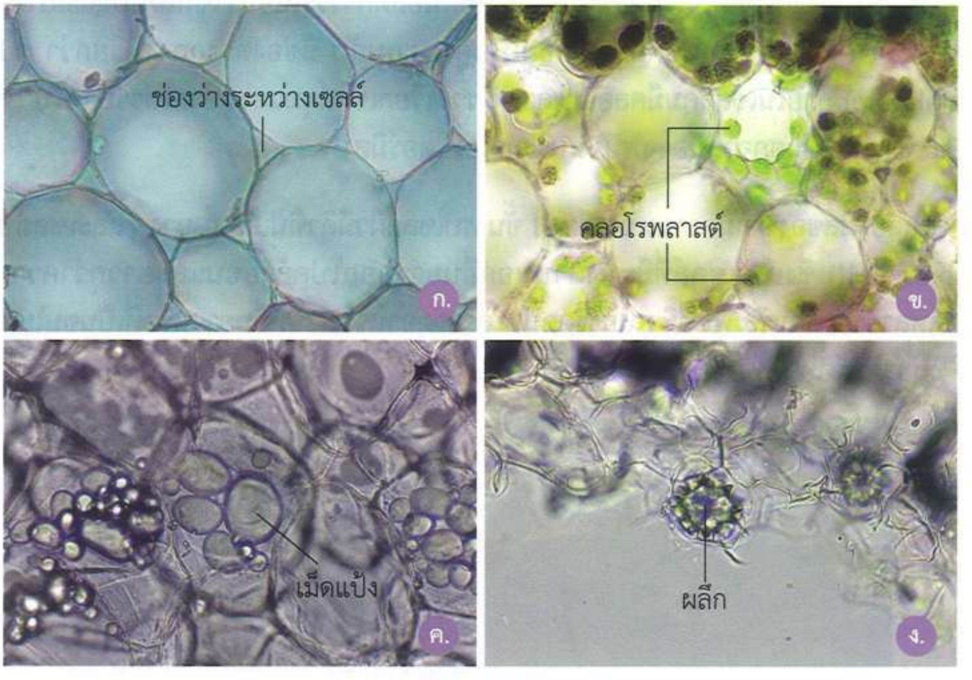
เอพิเดอร์มิสของรากมีความหนาเพียง 1 ชั้น พบเซลล์ผิวมีคิวทินเคลือบบาง ๆ และ**เซลล์ขนราก** (root hair cell) ซึ่งเป็นเซลล์ที่มีผนังด้านนอกยื่นยาวออกไปคล้ายขนและยาวกว่าความกว้างของเซลล์หลายเท่าเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวในการดูดน้ำและธาตุอาหาร ส่วนที่ยื่นยาวหรือที่เป็นขนไม่มีคิวทินเคลือบ มักขาดหรือหลุดได้ง่าย ดังรูป 9.6 ง.



รูป 9.6 เอพิเดอร์มิส

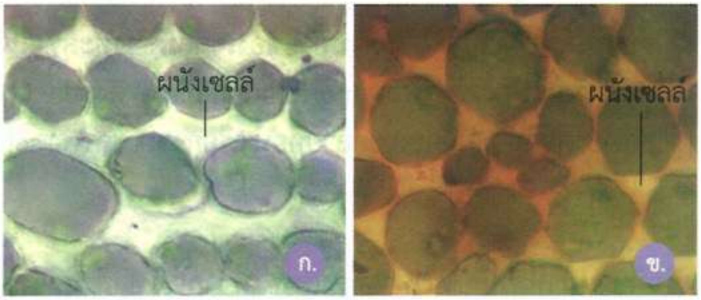
ก. เซลล์ผิวที่มีสารคิวทินเคลือบจากลำต้นปริกตัดตามขวาง
ข. เซลล์คุมจากการลอกผิวใบพลูด่าง
ค. เซลล์คุมจากใบพญายอตัดตามขวาง
ง. เซลล์ผิวและเซลล์ขนรากจากรากถั่วเขียวตัดตามขวาง

2. **พาเรงคิมา** (parenchyma) เป็นเนื้อเยื่อที่พบทั่วไปในส่วนต่าง ๆ ของพืช ประกอบด้วยเซลล์ที่มีชีวิตเรียกว่า**เซลล์พาเรงคิมา** (parenchyma cell) ส่วนใหญ่พบเฉพาะผนังเซลล์ปฐมภูมิที่บางสม่ำเสมอกันทั้งเซลล์ ทำหน้าที่เป็นเนื้อเยื่อพื้น แบ่งตามลักษณะรูปร่างได้หลายแบบ เช่น รูปร่างหลายเหลี่ยมจนเกือบกลม รูปร่างยาว รูปร่างเป็นแฉก โดยทั่วไปมีการเรียงตัวที่ทำให้เกิดช่องว่างระหว่างเซลล์ ถ้าเซลล์พาเรงคิมามีคลอโรพลาสต์จะทำหน้าที่สังเคราะห์ด้วยแสง นอกจากนี้ยังทำหน้าที่สะสมอาหาร และเก็บผลึก ดังรูป 9.7



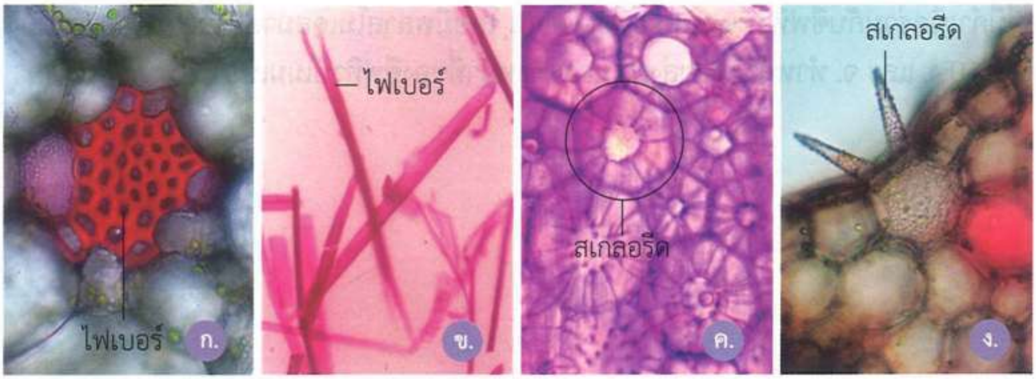
รูป 9.7 **พาเรงคิมา**
ก. รูปร่างหลายเหลี่ยมจนเกือบกลม ข. มีคลอโรพลาสต์
ค. สะสมเม็ดแป้งในหัวมันฝรั่ง ง. เก็บผลึกในใบชบา

3. **คอลเลงคิมา** (collenchyma) เป็นเนื้อเยื่อที่พบบริเวณถัดจากเอพิเดอร์มิสของลำต้นส่วนที่ยังอ่อนของพืชล้มลุกหรือไม้เลื้อยบางชนิดที่ก้านใบและเส้นกลางใบ ประกอบด้วยเซลล์ที่มีชีวิต เรียกว่า **เซลล์คอลเลงคิมา** (collenchyma cell) มีลักษณะคล้ายเซลล์พาเรงคิมา แต่ผนังเซลล์ปฐมภูมิหนาไม่สม่ำเสมอกัน ทำหน้าที่พยุงและทำให้เกิดความแข็งแรงแก่โครงสร้างพืช ดังรูป 9.8



รูป 9.8 คอลเลงคิมา
ก. จากลำต้นหมอน้อย
ข. จากก้านใบบัวสาย

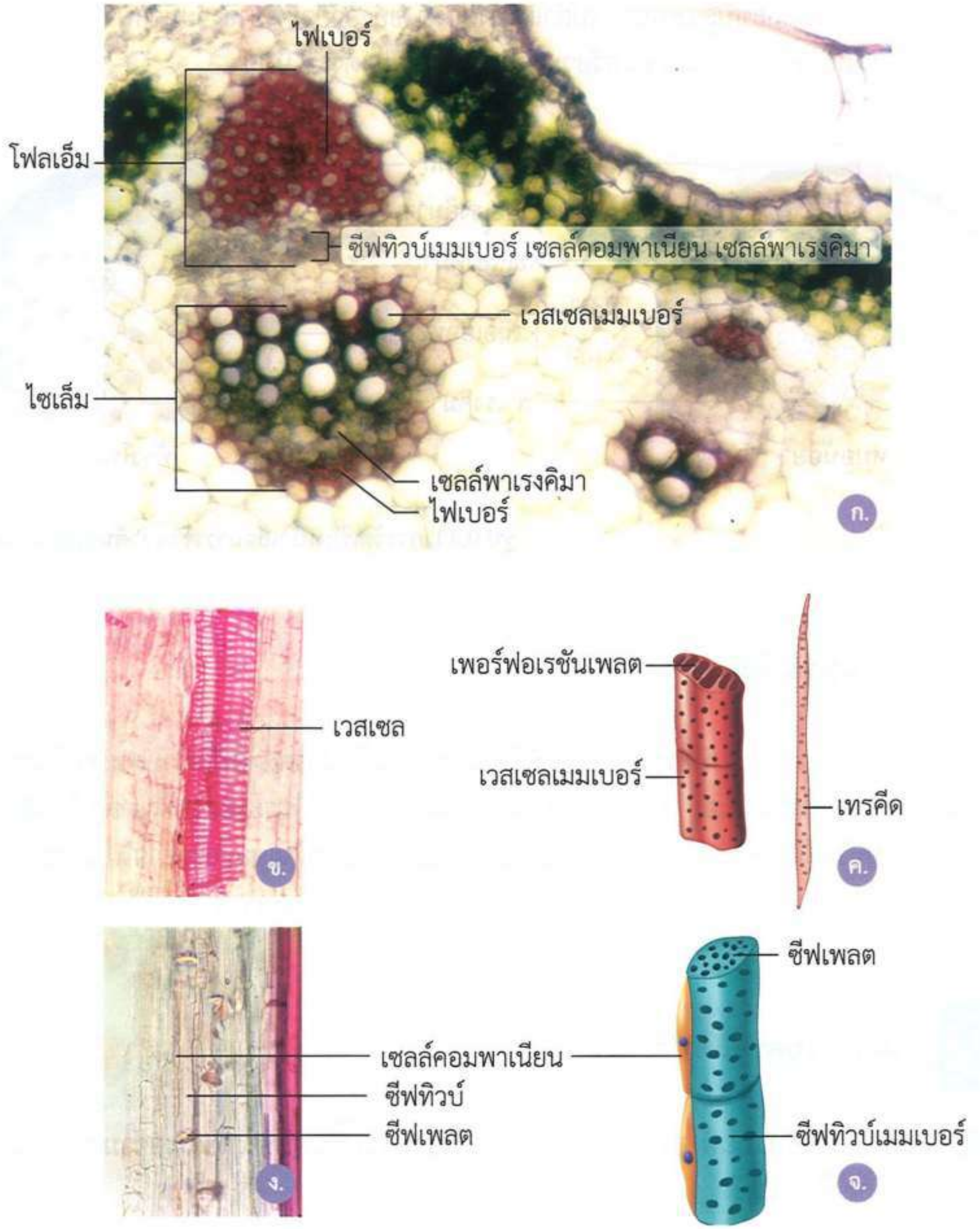
4. **สเกลอเรงคิมา** (sclerenchyma) เป็นเนื้อเยื่อที่พบในเนื้อเยื่อพื้นของลำต้น ใบ ผล เปลือกไม้ เปลือกผล เปลือกเมล็ด ประกอบด้วย **เซลล์สเกลอเรงคิมา** (sclerenchyma cell) ซึ่งเป็นเซลล์ไม่มีชีวิต มีผนังเซลล์ทุติยภูมิที่ค่อนข้างหนา ทำให้เกิดความแข็งแรงกับโครงสร้างของพืช ประกอบด้วยเซลล์ 2 ชนิด ซึ่งอาจแยกกันอยู่ หรืออยู่รวมกันเป็นกลุ่ม คือ เซลล์เส้นใยหรือ**ไฟเบอร์** (fiber) เป็นเซลล์ที่มีรูปร่างยาวเรียว หัวท้ายแหลม ดังรูป 9.9 ก. และ ข. และ**สเกลอรีด** (sclereid) เป็นเซลล์ที่มีรูปร่างหลายแบบ เช่น รูปหลายเหลี่ยม รูปดาว ดังรูป 9.9 ค. และ ง.



รูป 9.9 สเกลอเรงคิมา
ก. ไฟเบอร์จากใบลิ้นมังกรตัดตามขวาง
ข. ไฟเบอร์รูปร่างยาวเรียว และหัวท้ายแหลมจากลำต้นองุ่นที่ได้จากการทำให้ยุ่ย
ค. สเกลอรีดรูปหลายเหลี่ยมจากลำต้นนมตำเลียตัดตามขวาง
ง. สเกลอรีดรูปดาวจากก้านใบบัวสายตัดตามขวาง

5. **ไซเล็ม** (xylem) เป็นเนื้อเยื่อที่ทำหน้าที่ลำเลียงน้ำและธาตุอาหารจากรากไปสู่ส่วนต่าง ๆ ของพืช ประกอบด้วยเซลล์ 4 ชนิด ได้แก่ เทรคีด เวสเซลเมมเบอร์ เซลล์พาเรงคิมา และไฟเบอร์ โดยเซลล์ที่ทำหน้าที่ในการลำเลียงน้ำและธาตุอาหาร คือ **เทรคีด** (tracheid) และ**เวสเซลเมมเบอร์** (vessel member) ซึ่งเป็นเซลล์ที่ไม่มีชีวิต มีการสร้างผนังเซลล์ทุติยภูมิไม่สม่ำเสมอเกิดเป็นลวดลายต่าง ๆ บนผนังเซลล์ เทรคีดเป็นเซลล์ที่มีรูปร่างยาวปลายค่อนข้างเสี้ยมแหลม ดังรูป 9.10 ค. ส่วนเวสเซลเมมเบอร์เป็นเซลล์ที่มีรูปร่างยาว มักมีขนาดใหญ่กว่าเทรคีด ที่ด้านหัวและด้านท้ายของเซลล์มีช่องทะลุทำให้มองเห็นผนังหัวท้ายมีลักษณะเป็นแผ่นมีรูหรือ**เพอร์ฟอเรชันเพลต** (perforation plate) ดังรูป 9.10 ก. และ ค. เมื่อเวสเซลเมมเบอร์หลาย ๆ เซลล์เรียงต่อกันจะมีลักษณะคล้ายท่อน้ำเรียก **เวสเซล** (vessel) ดังรูป 9.10 ข.

6. **โฟลเอ็ม** (phloem) เป็นเนื้อเยื่อที่ทำหน้าที่ลำเลียงอาหารที่สังเคราะห์จากใบไปสู่ส่วนต่าง ๆ ของพืช ประกอบด้วยเซลล์ 4 ชนิด ได้แก่ เซลล์ท่อลำเลียงอาหารหรือซีฟทิวบ์เมมเบอร์ เซลล์ประกบหรือเซลล์คอมพาเนียน เซลล์พาเรงคิมา และไฟเบอร์ เซลล์ที่ทำหน้าที่หลักในการลำเลียงอาหารคือ **ซีฟทิวบ์เมมเบอร์** (sieve tube member) เป็นเซลล์ที่มีชีวิต แต่เมื่อเจริญเต็มที่ไม่มีนิวเคลียส มีแวคิวโอลขนาดใหญ่ที่มีอาหารอยู่ มีผนังเซลล์ปฐมภูมิบางและมีรูเล็ก ๆ อยู่เป็นกลุ่มที่ผนังด้านข้างและด้านหัวท้ายของเซลล์ ผนังด้านหัวและด้านท้ายมีลักษณะเป็นแผ่นตะแกรงหรือ**ซีฟเพลต** (sieve plate) ดังรูป 9.10 ก. ง. และ จ. ซีฟทิวบ์เมมเบอร์หลาย ๆ เซลล์เรียงต่อกันเป็นท่อเรียกว่า ท่อลำเลียงอาหาร**หรือซีฟทิวบ์** (sieve tube) ดังรูป 9.10 ง. ส่วน**เซลล์คอมพาเนียน** (companion cell) เป็นเซลล์ที่มีชีวิตที่มีกำเนิดร่วมกับซีฟทิวบ์เมมเบอร์ที่อยู่ติดกัน โดยมีพลาสโมเดสมาตาจำนวนมากเชื่อมถึงกัน ดังรูป 9.10 ง. และ จ. ทำหน้าที่ช่วยส่งเสริมการทำหน้าที่ของซีฟทิวบ์เมมเบอร์



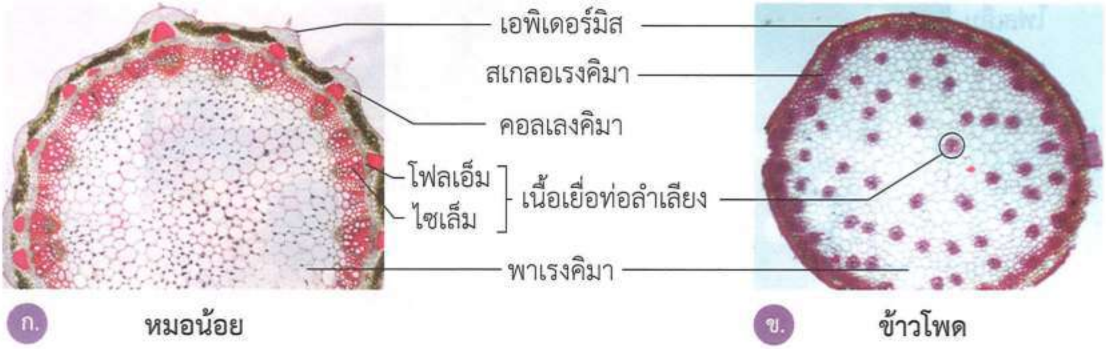
รูป 9.10 ไซเล็มและโฟลเอ็ม

ก. ไซเล็มและโฟลเอ็มจากลำต้นหมอน้อยตัดตามขวาง

ข. ไซเล็มจากก้านใบมะละกอตัดตามยาว ค. รูปวาดเวสเซลเมมเบอร์และเทรคีด

ง. โฟลเอ็มจากลำต้นมะระขี้นกตัดตามยาว จ. รูปวาดซีฟทิวบ์เมมเบอร์และเซลล์คอมพาเนียน

เนื้อเยื่อถาวรแต่ละชนิดจะพบอยู่ในตำแหน่งต่าง ๆ ของอวัยวะพืช ซึ่งจะมีจำนวนและรูปแบบการจัดเรียงที่แตกต่างกันไปตามแต่ละอวัยวะและชนิดของพืช ดังรูป 9.11



รูป 9.11 การจัดเรียงเนื้อเยื่อถาวรของลำต้นตัดตามขวาง

ความรู้เพิ่มเติม

เซลล์ที่เป็นองค์ประกอบในพืชพบทั้งเซลล์ที่มีชีวิตและเซลล์ที่ไม่มีชีวิตแต่ยังมีความสามารถในการทำหน้าที่ของเซลล์ชนิดนั้นอยู่ เช่น เวสเซลเมมเบอร์ที่พบในไซเล็ม ในระยะแรกที่เซลล์เจริญเต็มที่เซลล์จะยังมีชีวิตเมื่อเวลาผ่านไปไซโทซอลและออร์แกเนลล์ที่อยู่ภายในเซลล์จะสลายไป แต่เซลล์ยังคงทำหน้าที่ลำเลียงน้ำและธาตุอาหาร โดยมีประสิทธิภาพมากกว่าขณะที่เซลล์ยังมีชีวิต

ตรวจสอบความเข้าใจ

? ให้นักเรียนเขียนแผนผังสรุปชนิดของเนื้อเยื่อพืช พร้อมทั้งบอกหน้าที่และความสำคัญของเนื้อเยื่อลงในแผนผัง

เนื้อเยื่อพืชแต่ละชนิดมีโครงสร้างและหน้าที่เฉพาะซึ่งทำงานร่วมกันได้อย่างเป็นระบบเพื่อทำให้พืชเจริญเติบโต โดยเนื้อเยื่อพืชมีการจัดเรียงตัวที่แตกต่างกันอยู่ภายในราก ลำต้น และใบ **รูปแบบการจัดเรียงตัวของเนื้อเยื่อพืชภายในราก ลำต้น และใบ แตกต่างกันและสัมพันธ์กับการทำหน้าที่ของแต่ละอวัยวะอย่างไร**

9.2 โครงสร้างและการเจริญเติบโตของราก

ipst.me/9191

รากเป็นอวัยวะที่งอกออกจากเมล็ดเจริญลงสู่ดินตามแรงโน้มถ่วงของโลก ทำหน้าที่ดูดน้ำและธาตุอาหารเพื่อลำเลียงไปยังส่วนต่าง ๆ ของพืช รวมทั้งยึดลำต้นให้ติดกับพื้นดินหรือค้ำจุนลำต้นให้พืชเจริญเติบโตอยู่กับที่ได้ รากจะมีการแตกแขนงเกิดขึ้นเป็นจำนวนมากเพื่อให้เหมาะสมกับการทำหน้าที่ดังกล่าว **โครงสร้างของรากประกอบด้วยเนื้อเยื่ออะไร มีความเหมาะสมต่อการทำหน้าที่อย่างไร** จะศึกษาได้จากกิจกรรม 9.1

กิจกรรม 9.1 โครงสร้างและการเจริญเติบโตของราก

จุดประสงค์

1. อภิปราย และบันทึกเกี่ยวกับลักษณะการงอกของรากพืชใบเลี้ยงคู่และรากพืชใบเลี้ยงเดี่ยว
2. อธิบายการเจริญเติบโตและโครงสร้างภายนอกของรากพืชใบเลี้ยงคู่และรากพืชใบเลี้ยงเดี่ยว
3. ระบุและอธิบายโครงสร้างภายในของปลายรากพืชตัดตามยาว
4. เตรียมรากพืชใบเลี้ยงคู่และรากพืชใบเลี้ยงเดี่ยวตัดตามขวาง เพื่อศึกษาเนื้อเยื่อชั้นต่าง ๆ ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงเชิงประกอบ
5. สืบค้นข้อมูล อธิบาย และสรุปลักษณะของเนื้อเยื่อรากพืชใบเลี้ยงคู่และรากพืชใบเลี้ยงเดี่ยวแต่ละบริเวณจากด้านนอกเข้าไปสู่ด้านใน
6. เปรียบเทียบลักษณะโครงสร้างรากพืชใบเลี้ยงคู่และรากพืชใบเลี้ยงเดี่ยวตัดตามขวาง

วัสดุและอุปกรณ์

ตอนที่ 1 โครงสร้างภายนอกและการเจริญเติบโตของราก

1. เมล็ดถั่วเขียว และเมล็ดข้าวโพด ชนิดละ 20 เมล็ด (อาจใช้ถั่วเหลืองแทนถั่วเขียว หรือใช้ข้าวแทนข้าวโพด)
2. กล่องพลาสติกใสรูปสี่เหลี่ยมที่มีความสูงหรือความยาวของกล่องประมาณ 15-20 cm จำนวน 2 กล่อง
3. กระบะเพาะ 2 กระบะ
4. ดินสำหรับเพาะ
5. ทิชชู
6. แว่นขยาย
7. น้ำ

ตอนที่ 2 โครงสร้างภายในของราก

1. สไลด์ถาวรโครงสร้างปลายรากตัดตามยาว
2. ต้นถั่วเขียวและข้าวโพดที่ได้จากการเพาะอายุประมาณ 2 สัปดาห์ ชนิดละ 10 ต้น อาจใช้ต้นอ่อนพืชใบเลี้ยงคู่ชนิดอื่น เช่น หมอน้อย จามจุรี และพืชใบเลี้ยงเดี่ยวชนิดอื่น เช่น ข้าว แทนได้
3. กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงเชิงประกอบ
4. สไลด์และกระจกปิดสไลด์
5. ใบมีดโกน
6. พู่กัน
7. เข็มเขี่ย
8. หลอดหยด
9. จานเพาะเชื้อ
10. ทิชชู
11. บีกเกอร์ขนาด 50 mL หรือขวดแก้วปากกว้าง สำหรับใส่น้ำ
12. สีซาฟรานิน (safranin) ความเข้มข้น 1% หรือน้ำยาอุทัย
13. น้ำ

วิธีการเตรียมต้นถั่วเขียวและข้าวโพด

1. ก่อนการทำกิจกรรม 2 สัปดาห์ นำเมล็ดถั่วเขียวและเมล็ดข้าวโพด ชนิดละ 10 เมล็ด แช่น้ำ 1 คืน นำเมล็ดถั่วเขียวหลังจากแช่น้ำมาเพาะต่อในข้อที่ 2 สำหรับเมล็ดข้าวโพดให้นำขึ้นมาวางเพาะบนทิชชูแล้วใช้ทิชชูวางทับบนเมล็ดอีกชั้นรดน้ำให้ทิชชูชุ่มตลอดเวลา เมื่อผ่านไป 2-3 วัน รากจะเริ่มงอกจากนั้นให้เลือกเมล็ดข้าวโพดที่มีรากงอกมาเพาะต่อในข้อที่ 2
2. เลือกเมล็ดถั่วเขียวที่จมน้ำและเมล็ดข้าวโพดที่มีรากงอกมาเพาะในกระบะเพาะที่บรรจุดิน ชนิดละ 1 กระบะ เขียนชื่อพืชและวันที่เพาะติดที่กระบะ พร้อมทั้งรดน้ำ
3. แบ่งใช้ต้นถั่วเขียวและข้าวโพด ดังนี้
   - ชนิดละ 3 ต้น สำหรับใช้ในกิจกรรมนี้ ตอนที่ 2 ข้อ 2.2
   - ชนิดละ 3 ต้น สำหรับใช้ลำต้นในกิจกรรม 9.2
   - ต้นที่เหลือสำหรับใช้ใบในกิจกรรม 9.3

วิธีการทำกิจกรรม

ตอนที่ 1 โครงสร้างภายนอกและการเจริญเติบโตของราก

1. นำเมล็ดถั่วเขียวและเมล็ดข้าวโพด ชนิดละ 10 เมล็ด แช่น้ำประมาณ 6-12 ชั่วโมง
2. นำเมล็ดอย่างน้อย 5 เมล็ด เพาะในกล่องพลาสติกใสบนทิชชูที่ชุ่มน้ำ มีขั้นตอนดังนี้
   2.1 รดน้ำจนทิชชูเปียก
   2.2 วางเมล็ดให้กระจายห่างเท่า ๆ กันบนทิชชู
   2.3 ปิดฝากล่อง เขียนชื่อพืชและวันที่เพาะบนกล่อง


การเพาะเมล็ดในกล่องพลาสติกใส


เมล็ดถั่วเขียวบนทิชชูที่ชุ่มน้ำ


เมล็ดข้าวโพดบนทิชชูที่ชุ่มน้ำ

3. ใช้แว่นขยายสังเกตการงอกของเมล็ดถั่วเขียวและเมล็ดข้าวโพดทุกวันเป็นเวลา 3-6 วัน เพื่อศึกษาว่าส่วนใดงอกออกมาก่อนและรากที่เกิดเพิ่มขึ้นมานั้นเจริญมาจากส่วนใด บันทึกผลโดยวาดรูปหรือถ่ายรูปเมล็ดในแต่ละวัน และระบุชนิดรากลงในรูปโดยเปรียบเทียบกับรูป 9.12

คำถามท้ายกิจกรรม

? ส่วนใดของเมล็ดที่งอกออกมาก่อน งอกมาจากตำแหน่งใดของเมล็ด และตำแหน่งที่งอกของเมล็ดถั่วเขียวและเมล็ดข้าวโพดเหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร

? การงอกและการเจริญเติบโตของรากถั่วเขียวและรากข้าวโพดเหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร

ตอนที่ 2 โครงสร้างภายในของราก

2.1 โครงสร้างปลายรากตัดตามยาว

1. นำสไลด์ถาวรโครงสร้างปลายรากตัดตามยาวมาศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงเชิงประกอบ สังเกตบริเวณต่าง ๆ ของโครงสร้างปลายรากที่กำลังขยายต่ำ เพื่อระบุขอบเขตของแต่ละบริเวณโดยเปรียบเทียบกับรูป 9.13
2. ใช้กำลังขยายที่สูงขึ้นเพื่อสังเกตรายละเอียดของเซลล์ภายในเนื้อเยื่อ และลักษณะเฉพาะของแต่ละบริเวณ
3. วาดรูปที่เห็นภายใต้กล้องจุลทรรศน์ ระบุบริเวณต่าง ๆ พร้อมระบุกำลังขยายที่ใช้

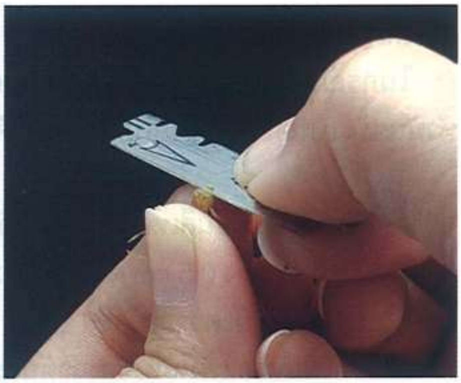
2.2 โครงสร้างภายในของรากตัดตามขวาง

1. นำต้นถั่วเขียวและข้าวโพดขึ้นมาจากกระบะเพาะโดยระวังไม่ให้ปลายรากขาด กรณีที่ต้องการศึกษาพืชชนิดอื่นด้วยให้ทำเช่นเดียวกัน
2. นำต้นพืชไปล้างน้ำให้ดินหลุดจากราก แล้วตัดรากพืชบริเวณที่มีขนรากมาอย่างละ 2-3 ท่อน ท่อนละ 3 cm ล้างให้สะอาดแล้วนำไปแช่น้ำ
3. เตรียมสารละลายสีสำหรับย้อมชิ้นเนื้อเยื่อ โดยหยดสีซาฟรานินความเข้มข้น 1% ประมาณ 1-2 หยด ลงในน้ำ 10 mL ในจานเพาะเชื้อ
4. การตัดรากพืชใบเลี้ยงคู่และรากพืชใบเลี้ยงเดี่ยวตามขวาง มีขั้นตอนดังนี้

   4.1 นำใบมีดโกนมาหักครึ่งตามยาวขณะอยู่ในห่อกระดาษ เพื่อให้ใช้งานได้ปลอดภัยและประหยัด ตัดตามขวางให้ได้ชิ้นบาง โดยจับท่อนรากด้วยนิ้วหัวแม่มือและนิ้วชี้ให้หน้าตัดที่ต้องการตัดอยู่ในแนวระนาบและสูงกว่านิ้วมือเล็กน้อย

   4.2 จับใบมีดด้วยนิ้วหัวแม่มือและนิ้วชี้จุ่มใบมีดลงในน้ำให้เปียกแล้ววางคมมีดอยู่ในแนวระนาบ จรดใบมีดกับหน้าตัดท่อนรากดึงใบมีดเข้าหาตัว พยายามดึงใบมีดด้วยนิ้วทั้งสองเข้าหาตัวครั้งเดียวเพื่อให้ได้ชิ้นส่วนของพืชเป็นชิ้นบาง 1 ชิ้น **ห้ามดึงใบมีดหลาย ๆ ครั้งแบบเลื่อยไม้** ตัดให้ได้หลาย ๆ ชิ้นใส่ในน้ำ


จับท่อนรากด้วยนิ้วหัวแม่มือและนิ้วชี้

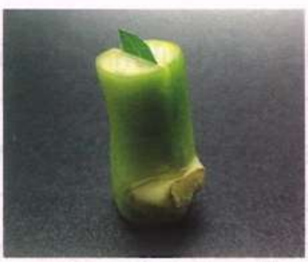

จรดใบมีดกับหน้าตัดท่อนราก

5. เลือกชิ้นส่วนของรากที่ตัดเป็นชิ้นบางโดยใช้พู่กันแตะแล้วแช่ในน้ำสีที่ใส่ในจานเพาะเชื้อ (แยกถั่วเขียวและข้าวโพดเป็นจานละชนิด)
6. เลือกชิ้นส่วนที่บางและสมบูรณ์ซึ่งย้อมสีแล้วจำนวน 3-4 ชิ้น โดยใช้พู่กันแตะแล้วนำไปแช่ในน้ำที่ใส่ในจานเพาะเชื้อเพื่อล้างสีส่วนเกิน จากนั้นใช้พู่กันเลือกชิ้นส่วนมาวางลงบนหยดน้ำบนสไลด์แล้วปิดด้วยกระจกปิดสไลด์ อย่าให้มีฟองอากาศอยู่ภายใน
7. เช็ดน้ำที่ล้นตรงขอบกระจกปิดสไลด์ และอย่าให้ด้านบนกระจกปิดสไลด์เปียกน้ำ
8. นำสไลด์ไปส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ใช้แสงเชิงประกอบ เริ่มจากกำลังขยายต่ำก่อนเพื่อเลือกศึกษาชิ้นเนื้อเยื่อที่บางและสมบูรณ์ที่สุด แล้วจึงเปลี่ยนเป็นกำลังขยายสูงขึ้นเพื่อศึกษารายละเอียดของโครงสร้างภายในของรากให้ได้มากขึ้น จากนั้นบันทึกผลการศึกษาโดยการวาดรูปหรือถ่ายรูปพร้อมชี้บอกรายละเอียด
9. บันทึกรายละเอียดเปรียบเทียบความเหมือนและความแตกต่างของเนื้อเยื่อแต่ละบริเวณของรากถั่วเขียวและข้าวโพดในรูปแบบตาราง

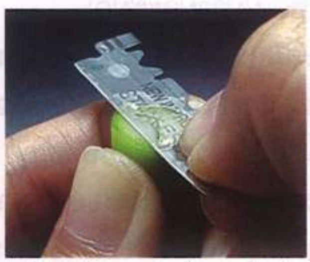
ข้อเสนอแนะ

ในกรณีที่ราก ลำต้น และใบมีขนาดเล็กหรือตัดยากสามารถใช้โฟมอัด ลำต้นคะน้า หัวมันฝรั่ง เป็นอุปกรณ์ช่วยในการตัดได้ ดังนี้

1. ตัดโฟมให้เป็นท่อนสี่เหลี่ยมขนาดที่จับได้ถนัดยาวประมาณ 3 cm หน้าตัดเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าความกว้าง 0.5 cm × ความยาว 1 cm หรือสี่เหลี่ยมจัตุรัสกว้างประมาณ 1 cm หรือเลือกลำต้นคะน้าความกว้าง 1 cm × ความยาว 3 cm
2. ผ่าแท่งโฟมหรือแท่งไส้ในของลำต้นคะน้าให้ลึกประมาณ 1 cm
3. สอดชิ้นส่วนของพืชที่ต้องการตัดลงไปในรอยผ่านั้นในลักษณะฝังในแท่งโฟมหรือแท่งไส้ในของลำต้นคะน้า
4. ตัดโฟมหรือไส้ในของลำต้นคะน้าให้เป็นชิ้นบางตามขวางจะได้ชิ้นส่วนของพืชติดมาด้วย
5. นำไปแช่น้ำจะได้ชิ้นส่วนของพืชหลุดออกมา



การฝังใบลงในลำต้นคะน้า



ตัดไส้ในของลำต้นคะน้าให้เป็นชิ้นบางตามขวาง



ชิ้นส่วนของพืชหลุดออกมาจากการแช่น้ำ

คำถามท้ายกิจกรรม

- ? จากการศึกษาโครงสร้างปลายรากตัดตามยาวภายใต้กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงเชิงประกอบ โครงสร้างที่อยู่ปลายสุดของรากคืออะไร มีความสำคัญต่อพืชอย่างไร
- ? ถ้าต้องการศึกษาการแบ่งเซลล์ไมโทซิสระยะต่าง ๆ ของปลายรากหอมควรเลือกศึกษาที่บริเวณใดของโครงสร้างปลายรากตัดตามยาว
- ? จากการศึกษาโครงสร้างภายในของรากระยะที่มีการเติบโตปฐมภูมิของรากพืชใบเลี้ยงคู่และรากพืชใบเลี้ยงเดี่ยว เนื้อเยื่อชั้นใดบ้างที่มีลักษณะคล้ายกัน
- ? นักเรียนจะบอกได้อย่างไรว่า สไลด์โครงสร้างของรากที่ศึกษาเป็นของรากพืชใบเลี้ยงคู่หรือรากพืชใบเลี้ยงเดี่ยว

จากการทำกิจกรรมจะพบว่าส่วนที่โผล่พ้นเมล็ดออกมาก่อนคือ **รากปฐมภูมิ** (primary root) หรือ**รากแก้ว** (tap root) ดังรูป 9.12 ก. และ ข. ต่อมาความยาวของรากจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ และสามารถสังเกตเห็นขนราก เกิดขึ้นที่บริเวณถัดจากปลายสุดของราก และพบว่ารากจะเพิ่มจำนวนและเพิ่มความยาวอย่างเห็นได้ชัดในเวลาต่อมา สำหรับรากถั่วเขียวที่เพิ่มขึ้นนี้เจริญออกมาจากรากปฐมภูมิเรียกรากที่มีลักษณะการเกิดแบบนี้ว่า **รากทุติยภูมิ** (secondary root) หรือ **รากแขนง** (lateral root) ดังรูป 9.12 ค. สำหรับข้าวโพดสามารถพบรากแขนงได้เช่นกันและยังพบรากที่เพิ่มขึ้นโดยไม่ได้เจริญออกมาจากรากปฐมภูมิแต่เจริญมาจากบริเวณที่อยู่เหนือรากขึ้นไปเรียกว่า **รากพิเศษ** (adventitious root) ดังรูป 9.12 ง.



รูป 9.12 ลักษณะของรากพืชใบเลี้ยงคู่ และพืชใบเลี้ยงเดี่ยวที่งอกจากเมล็ด
ก. และ ค. ถั่วเขียว ข. และ ง. ข้าวโพด

จากการทำกิจกรรม 9.1 ตอนที่ 2 **สามารถแบ่งโครงสร้างของรากออกเป็นบริเวณต่าง ๆ ตามลักษณะของเซลล์ได้อย่างไร** ศึกษาได้จากหัวข้อต่อไปนี้

โครงสร้างภายในของปลายราก

เมื่อรากงอกออกจากเมล็ดจะมีการเจริญเติบโตโดยเพิ่มขนาดและจำนวน การที่รากของพืชสามารถเจริญเติบโตเพิ่มขนาดได้เป็นเพราะเนื้อเยื่อบริเวณต่าง ๆ ของโครงสร้างปลายราก

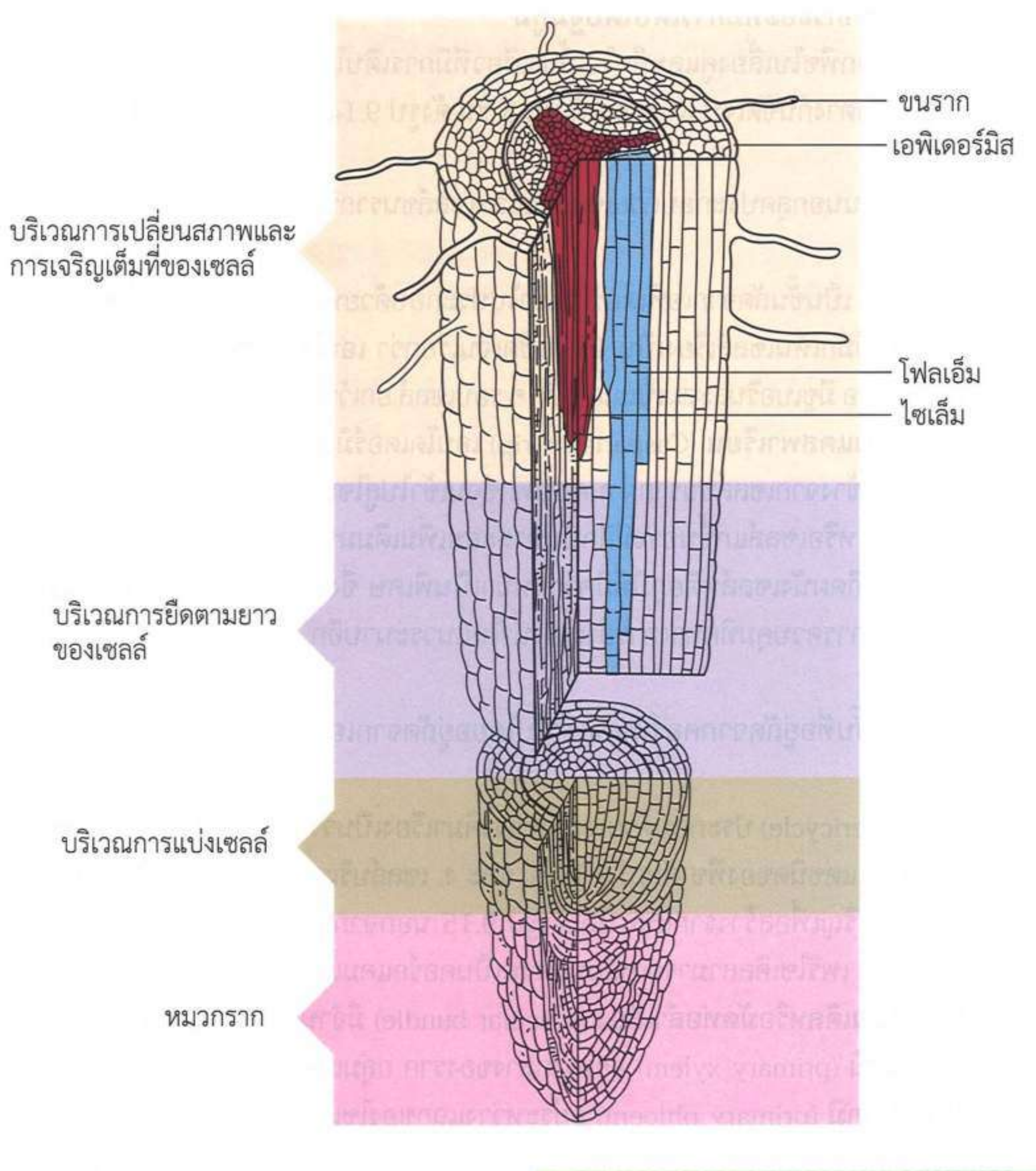
จากรูป 9.13 โครงสร้างของปลายรากตัดตามยาว ประกอบด้วยเนื้อเยื่อบริเวณต่าง ๆ โดยเรียงลำดับจากปลายสุดของรากขึ้นไป ดังนี้

1. **หมวกราก** (root cap) เป็นบริเวณที่อยู่ปลายสุดของรากเจริญมาจากเนื้อเยื่อเจริญปลายรากที่อยู่ถัดขึ้นไปจากหมวกราก ประกอบด้วยเซลล์พาเรงคิมาที่เรียงกันอย่างหลวม ๆ ภายในอาจเห็นเม็ดแป้ง หมวกรากสามารถผลิตเมือกขับออกมารอบ ๆ ทำให้สะดวกต่อการชอนไชลงไปในดินและยังทำหน้าที่ป้องกันอันตรายให้กับเนื้อเยื่อเจริญที่อยู่ถัดขึ้นไปขณะที่รากชอนไชลงสู่ดิน

2. **บริเวณการแบ่งเซลล์** (region of cell division) เป็นบริเวณที่อยู่ถัดจากหมวกรากขึ้นไป ประกอบด้วยกลุ่มเซลล์เจริญส่วนปลายที่มีลักษณะเป็นกลุ่มหรือเป็นแถวทำหน้าที่แบ่งเซลล์แบบไมโทซิสให้เซลล์ส่วนหนึ่งที่จะเปลี่ยนไปเป็นเซลล์ในหมวกรากและเซลล์ส่วนใหญ่ที่จะมีการเจริญและเปลี่ยนไปเป็นส่วนอื่น ๆ ของโครงสร้างราก

3. **บริเวณการยืดตามยาวของเซลล์** (region of cell elongation) เป็นบริเวณที่อยู่ถัดจากบริเวณการแบ่งเซลล์ขึ้นไป เซลล์มีการยืดตามยาวและขยายทางด้านกว้างทำให้รากมีความยาวและขยายขนาดเพิ่มขึ้น

4. **บริเวณการเปลี่ยนสภาพและการเจริญเต็มที่ของเซลล์** (region of cell differentiation and maturation) เป็นบริเวณที่เซลล์มีการเปลี่ยนสภาพและเจริญเต็มที่ไปเป็นเซลล์ชนิดต่าง ๆ เพื่อทำหน้าที่เฉพาะได้อย่างสมบูรณ์ พบเซลล์ผิวและเซลล์ขนราก นอกจากนี้ยังมีเซลล์ในไซเล็มทำหน้าที่ลำเลียงน้ำและธาตุอาหาร และเซลล์ในโฟลเอ็มทำหน้าที่ลำเลียงอาหาร โครงสร้างของรากบริเวณนี้จึงประกอบด้วยเซลล์และเนื้อเยื่อถาวรที่พร้อมทำหน้าที่ต่าง ๆ ตามที่ได้กล่าวมาแล้ว



รูป 9.13 ปลายรากพืชตัดตามยาวแสดงบริเวณต่าง ๆ

การศึกษาโครงสร้างภายในของรากจากกิจกรรม 9.1 ตอนที่ 2 ข้อ 2.2 ซึ่งเป็นการตัดตามขวางรากพืชใบเลี้ยงคู่และพืชใบเลี้ยงเดี่ยวในบริเวณที่คาดว่าน่าจะเป็นระยะที่รากมีการเจริญเติบโตเต็มที่จากบริเวณที่พบขนราก เซลล์มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างและโครงสร้างเพื่อทำหน้าที่เฉพาะ บริเวณที่ศึกษาเป็นเนื้อเยื่อที่มีการเจริญเติบโตต่อเนื่องมาจากเนื้อเยื่อเจริญปลายราก จึงจัดเป็นการเติบโตปฐมภูมิซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

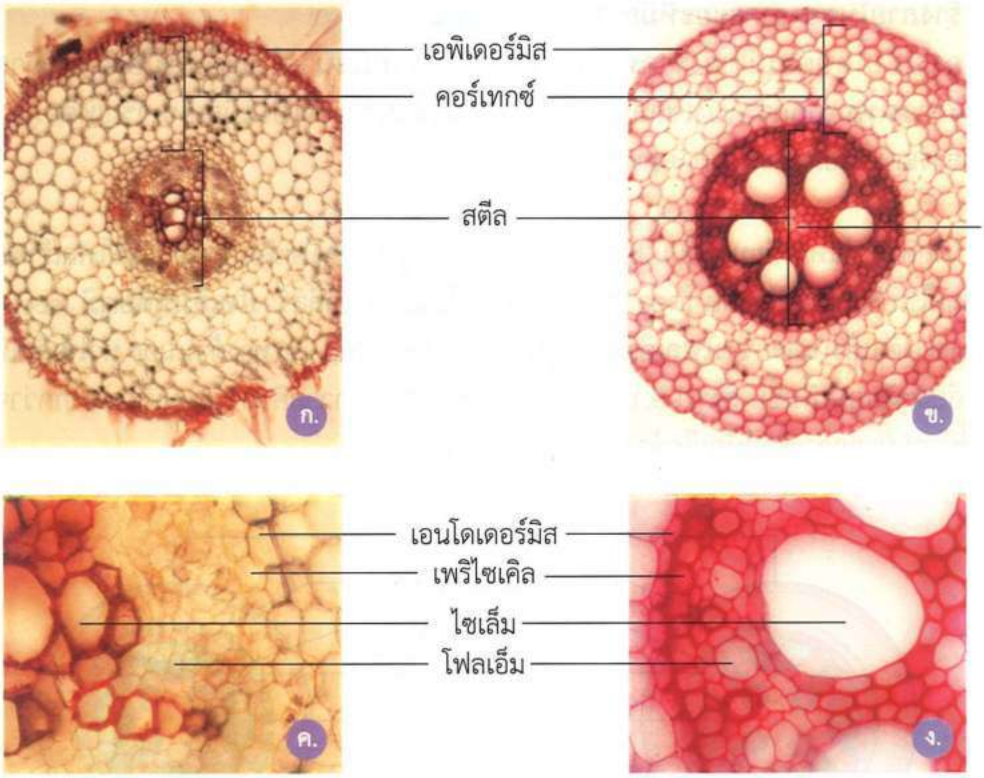
โครงสร้างภายในของรากระยะที่มีการเติบโตปฐมภูมิ

โครงสร้างของรากพืชใบเลี้ยงคู่และพืชใบเลี้ยงเดี่ยวที่มีการเติบโตปฐมภูมิตัดตามขวางมีการเรียงตัวของเนื้อเยื่อแตกต่างกันชัดเจน แบ่งออกได้เป็น 3 ชั้น ดังรูป 9.14 ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

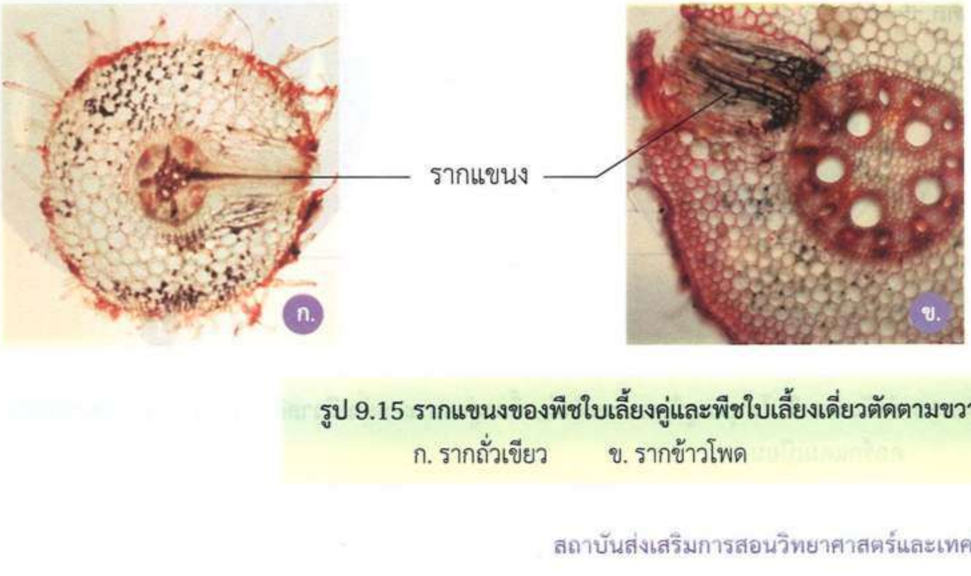
1. **เอพิเดอร์มิส** เป็นชั้นนอกสุดประกอบด้วยเซลล์ผิวและเซลล์ขนรากที่เรียงเป็น 1 แถว

2. **คอร์เทกซ์** (cortex) เป็นชั้นถัดจากเอพิเดอร์มิสเข้าไปประกอบด้วยพาเรงคิมาเป็นส่วนใหญ่ ด้านในสุดของคอร์เทกซ์มักเห็นเซลล์เรียงเป็น 1 แถวชัดเจนเรียกว่า **เอนโดเดอร์มิส** (endodermis) ซึ่งมีลักษณะพิเศษคือ มีซูเบอรินสะสมเป็นแถบเล็ก ๆ รอบเซลล์ ยกเว้นด้านที่ขนานกับเอพิเดอร์มิส เรียกแถบนี้ว่า **แถบแคสพาเรียน** (Casparian strip) เอนโดเดอร์มิสมีหน้าที่ควบคุมทิศทางการลำเลียงน้ำทางด้านข้างจากเซลล์ขนรากผ่านคอร์เทกซ์จนเข้าไปสู่ไซเล็ม ในเซลล์เอนโดเดอร์มิสที่ทำหน้าที่ไปนาน ๆ หรือเซลล์แก่ขึ้นอาจมีลิกนินมาสะสมเพิ่มเติมมากทางด้านข้างและด้านในที่ขนานกับผิวทำให้เกิดผนังเซลล์ทุติยภูมิที่มีความหนาเป็นพิเศษ ซึ่งเอนโดเดอร์มิสในช่วงนี้ไม่มีหน้าที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมทิศทางการลำเลียงน้ำในแนวระนาบอีก

3. **สตีล** (stele) เป็นชั้นที่อยู่ถัดจากคอร์เทกซ์เข้าไปโดยอยู่ถัดจากเอนโดเดอร์มิส ประกอบด้วยชั้นต่าง ๆ ดังนี้
   3.1 **เพริไซเคิล** (pericycle) ประกอบด้วยเซลล์พาเรงคิมาเรียงเป็นวง ซึ่งอาจมีเซลล์ 1 แถวหรือหลายแถวแล้วแต่ชนิดของพืช ดังรูป 9.14 ค. และ ง. เซลล์บริเวณนี้สามารถเปลี่ยนกลับไปเป็นเนื้อเยื่อเจริญเพื่อสร้างรากแขนงได้ ดังรูป 9.15 นอกจากนี้ในรากพืชบางชนิดที่มีการเติบโตทุติยภูมิ เพริไซเคิลสามารถเปลี่ยนสภาพเป็นคอร์กแคมเบียมได้
   3.2 **วาสคิวลาร์บันเดิล**หรือ**มัดท่อลำเลียง** (vascular bundle) มีจำนวน 1 กลุ่ม ประกอบด้วย **ไซเล็มปฐมภูมิ** (primary xylem) อยู่ตรงกลางของราก กลุ่มเซลล์มีลักษณะเป็นแฉก และ **โฟลเอ็มปฐมภูมิ** (primary phloem) อยู่ระหว่างแฉกของไซเล็มปฐมภูมิ จำนวนแฉกของไซเล็มในรากพืชใบเลี้ยงคู่จะมีประมาณ 4-6 แฉก ดังรูป 9.14 ก. และ ค. ส่วนในรากพืชใบเลี้ยงเดี่ยวจะมีจำนวนแฉกของไซเล็มมากกว่า ดังรูป 9.14 ข. และ ง.
   3.3 **พิธ** (pith) คือ บริเวณตรงกลางของรากที่ประกอบด้วยเซลล์พาเรงคิมา ในรากพืชใบเลี้ยงเดี่ยวบางชนิด เช่น ข้าวโพด พบพิธเป็นบริเวณกว้าง ดังรูป 9.14 ข. แต่มักไม่พบพิธในรากพืชใบเลี้ยงคู่ที่เจริญจากเมล็ดหรือรากแขนง อาจมีโอกาสพบพิธได้ในรากที่เจริญมาจากส่วนอื่น ๆ เช่น ลำต้น และใบ ซึ่งเป็นรากพิเศษ



รูป 9.14 รากพืชใบเลี้ยงคู่และพืชใบเลี้ยงเดี่ยวตัดตามขวางแสดงระยะที่มีการเติบโตปฐมภูมิ
ก. และ ค. รากถั่วเขียว ข. และ ง. รากข้าวโพด

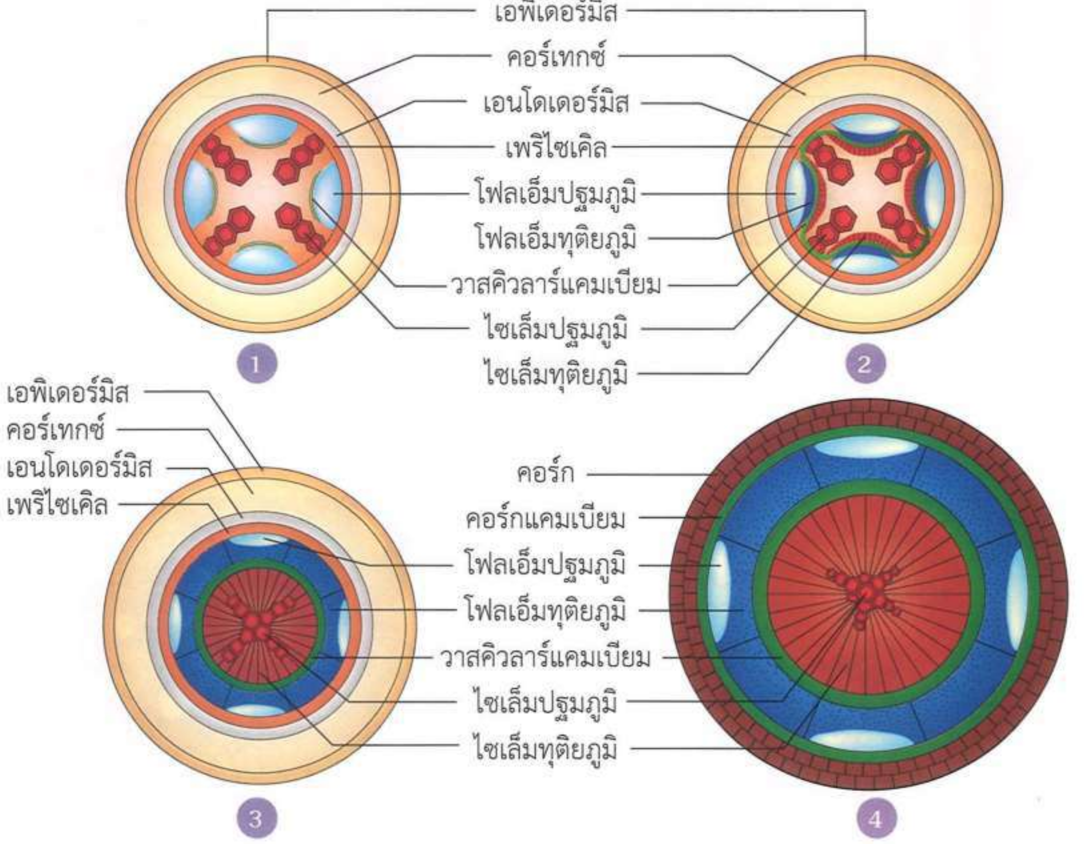


รูป 9.15 รากแขนงของพืชใบเลี้ยงคู่และพืชใบเลี้ยงเดี่ยวตัดตามขวาง
ก. รากถั่วเขียว ข. รากข้าวโพด

โครงสร้างภายในของรากระยะที่มีการเติบโตทุติยภูมิ

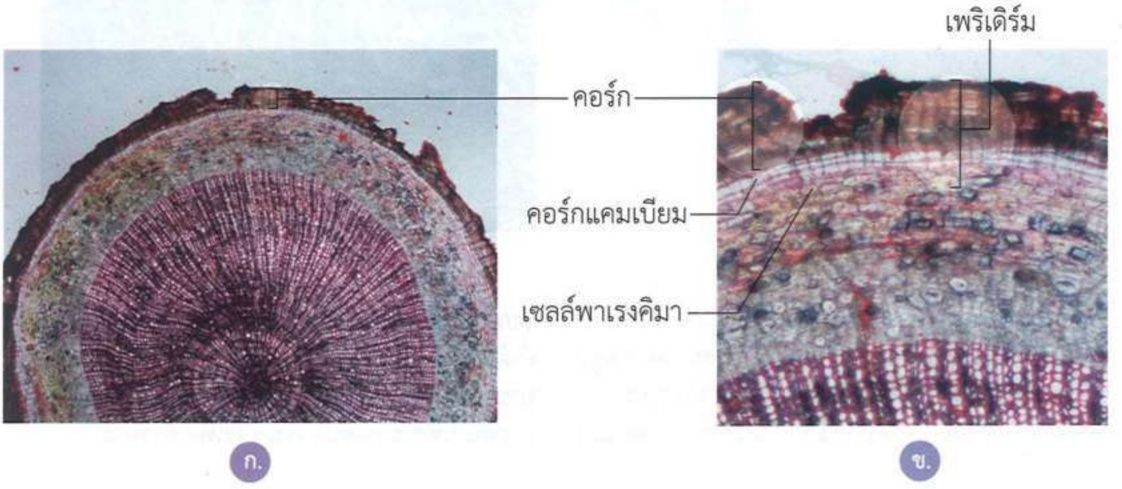
การเติบโตทุติยภูมิของรากพืชใบเลี้ยงคู่ทำให้รากมีขนาดใหญ่ขึ้น เนื่องจากมีการสร้างเนื้อเยื่อถาวรเพิ่มจากการแบ่งเซลล์ของเนื้อเยื่อเจริญด้านข้างซึ่งเป็นเนื้อเยื่อเจริญทุติยภูมิ ได้แก่ วาสคิวลาร์แคมเบียมและคอร์กแคมเบียม

วาสคิวลาร์แคมเบียมเปลี่ยนสภาพมาจากเซลล์ที่อยู่ระหว่างไซเล็มปฐมภูมิและโฟลเอ็มปฐมภูมิ และเซลล์ในบริเวณเพริไซเคิล โดยวาสคิวลาร์แคมเบียมแบ่งเซลล์สร้าง**ไซเล็มทุติยภูมิ** (secondary xylem) ทางด้านใน และสร้าง**โฟลเอ็มทุติยภูมิ** (secondary phloem) ทางด้านนอก ทำให้เกิดเนื้อเยื่อท่อลำเลียงทุติยภูมิเพิ่มขึ้น ดังรูป 9.16 ดังนั้นเซลล์ที่อยู่ห่างจากวาสคิวลาร์แคมเบียมมากกว่าจะเป็นเซลล์ที่มีอายุมากกว่าเซลล์ที่อยู่ใกล้วาสคิวลาร์แคมเบียม



รูป 9.16 ลำดับการเติบโตทุติยภูมิของรากพืชใบเลี้ยงคู่จากระยะเริ่มมีวาสคิวลาร์แคมเบียมถึงระยะเกิดคอร์กแคมเบียม

ในรากที่เนื้อเยื่อทุติยภูมิเพิ่มจำนวนมากขึ้นหลายเท่า เซลล์ในชั้นเอพิเดอร์มิสและบริเวณคอร์เทกซ์เดิมหลุดออกไป คอร์กแคมเบียมแบ่งเซลล์สร้างคอร์กเพื่อทำหน้าที่แทนเนื้อเยื่อที่หลุดออกไป ดังรูป 9.17 ก. และ ข. ส่วนใหญ่เซลล์ในบริเวณเพริไซเคิลเปลี่ยนสภาพเป็นเซลล์ที่แบ่งตัวได้เรียกว่า คอร์กแคมเบียม โดยจะแบ่งเซลล์ให้เซลล์คอร์กอยู่ด้านนอกและเซลล์พาเรงคิมาอยู่ด้านใน เรียกรวมชั้นเนื้อเยื่อคอร์กหรือเฟลเลม (phellem) คอร์กแคมเบียมหรือเฟลโลเจน (phellogen) และพาเรงคิมาที่ได้จากการแบ่งตัวของคอร์กแคมเบียมหรือเฟลโลเดิร์ม (phelloderm) นี้ว่า เพริเดิร์ม สำหรับรากพืชใบเลี้ยงเดี่ยวส่วนใหญ่จะไม่พบการเติบโตทุติยภูมิ



รูป 9.17 รากพืชใบเลี้ยงคู่ระยะการเติบโตทุติยภูมิจากรากระยะแก่มากตัดตามขวาง
ก. รากโมก ข. รูปขยายแสดงชั้นเพริเดิร์ม

ชวนคิด

ให้นักเรียนยกตัวอย่างการใช้ประโยชน์จากรากพืช โดยใช้ความรู้เกี่ยวกับโครงสร้างของรากเพื่ออธิบายเหตุผลว่า เพราะเหตุใดพืชชนิดดังกล่าวจึงเหมาะสมกับการใช้ประโยชน์ในด้านนั้น

ตรวจสอบความเข้าใจ

? เพราะเหตุใดบริเวณของรากที่มีการเติบโตปฐมภูมิสามารถดูดซึมน้ำได้ แต่บริเวณรากที่มีการเติบโตทุติยภูมิดูดซึมน้ำไม่ได้

ความรู้เพิ่มเติม

นอกจากรากจะทำหน้าที่ดูดน้ำและธาตุอาหารจากดิน ยังสามารถทำหน้าที่อื่นได้อีก เช่น



แครอท

รากสะสมอาหาร (storage root) เป็นส่วนของรากที่ทำหน้าที่เก็บสะสมอาหาร ส่วนใหญ่มักสะสมอาหารในรูปของแป้งในพาเรงคิมา ทำให้รากมีขนาดใหญ่กว่ารากตามปกติ เช่น แครอท กระชาย มันแกว มันเทศ และหัวไชเท้า



โกงกาง

รากค้ำ (prop root) เป็นรากที่เจริญออกทางด้านข้างลำต้นลงสู่ดินเพื่อช่วยพยุงลำต้น พบในพืชที่เจริญตามป่าชายเลน เช่น โกงกาง ป่าชายหาด เช่น เตยทะเล และอาจพบในพืชไร่บางชนิด เช่น ข้าวโพด ข้าวฟ่าง



แสม

รากหายใจ (aerating root) เป็นส่วนของรากแขนงที่มีปลายรากโผล่ขึ้นมาเหนือพื้นดินและผิวน้ำเพื่อทำหน้าที่หายใจ นอกจากนี้ยังช่วยดักตะกอนหรืออินทรียวัตถุต่าง ๆ ตามชายฝั่งด้วย เช่น แสม ลำพู



กล้วยไม้

รากอากาศ (aerial root) เป็นรากที่เกิดตามลำต้นและไม่เจริญลงไปในดิน ทำหน้าที่ยึดเกาะและช่วยดูดซับความชื้นในอากาศ พบในพืชอิงอาศัยบางชนิด เช่น กล้วยไม้ และยังพบในพืชอื่นที่ไม่ใช่พืชอิงอาศัย เช่น ไทร และพลูด่าง

9.3 โครงสร้างและการเจริญเติบโตของลำต้น

ipst.me/9192

ลำต้นเป็นอวัยวะที่โดยทั่วไปเจริญอยู่เหนือระดับผิวดินถัดขึ้นมาจากราก ทำหน้าที่สร้างใบ ชูกิ่ง ก้าน ใบ ดอก และผล และเป็นเส้นทางลำเลียงน้ำ ธาตุอาหาร และอาหารส่งไปยังส่วนต่าง ๆ โครงสร้างภายนอกของลำต้นแตกต่างจากรากคือมีข้อและปล้อง บริเวณข้อมีใบและที่ซอกใบมีตา (bud)

ส่วนที่อยู่เหนือดินของพืชดอกทั่วไป ได้แก่ ลำต้น กิ่ง ใบ อาจเรียกรวมกันว่าส่วนยอด (shoot) **โครงสร้างของลำต้นประกอบด้วยเนื้อเยื่ออะไร มีความเหมาะสมต่อการทำหน้าที่ของลำต้นอย่างไร** จะศึกษาได้จากกิจกรรม 9.2

กิจกรรม 9.2 โครงสร้างภายนอกและภายในของลำต้น

จุดประสงค์

1. อธิบายและสรุปโครงสร้างภายนอกของลำต้นพืชใบเลี้ยงคู่และลำต้นพืชใบเลี้ยงเดี่ยว
2. ระบุและอธิบายโครงสร้างภายในของปลายยอดพืชตัดตามยาว
3. เตรียมสไลด์เนื้อเยื่อลำต้นพืชใบเลี้ยงคู่และลำต้นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวตัดตามขวางและศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์ใช้แสงเชิงประกอบ บันทึกรูปที่เห็นจากกล้องจุลทรรศน์
4. สืบค้นข้อมูล อธิบาย และสรุปลักษณะของเนื้อเยื่อลำต้นพืชใบเลี้ยงคู่และลำต้นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวแต่ละบริเวณจากด้านนอกเข้าไปสู่ด้านในตามลำดับ
5. เปรียบเทียบลักษณะโครงสร้างภายในของลำต้นพืชใบเลี้ยงคู่และลำต้นพืชใบเลี้ยงเดี่ยว

วัสดุและอุปกรณ์

1. ต้นถั่วเขียว และต้นข้าวโพดที่เพาะแล้วจากกิจกรรม 9.1 หรืออาจใช้พืชอื่นที่นักเรียนสนใจ
   - พืชใบเลี้ยงคู่ เช่น หมอน้อย ต้อยติ่ง กะเพรา โหระพา ชบา
   - พืชใบเลี้ยงเดี่ยว เช่น หญ้าขน หญ้าแพรก วาสนา ไผ่เขียว กวนอิม
2. สไลด์ถาวรปลายยอดพืชใบเลี้ยงคู่
3. กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงเชิงประกอบ
4. สไลด์และกระจกปิดสไลด์
5. ใบมีดโกน
6. พู่กัน
7. เข็มเขี่ย
8. หลอดหยด
9. จานเพาะเชื้อ
10. ทิชชู

11. บีกเกอร์ขนาด 50 mL หรือขวดแก้วปากกว้าง สำหรับใส่น้ำ
12. สีซาฟรานินความเข้มข้น 1% หรือน้ำยาอุทัย
13. น้ำ

วิธีการทำกิจกรรม

ตอนที่ 1 โครงสร้างภายนอกของลำต้น

1. ให้นักเรียนสังเกตลักษณะภายนอกของลำต้นของพืชใบเลี้ยงคู่ และพืชใบเลี้ยงเดี่ยว ดังต่อไปนี้
   - ข้อ ปล้อง สังเกตว่าเห็นชัดเจนหรือไม่
   - ตำแหน่งที่เกิดใบ และสังเกตบริเวณซอกใบว่ามีตาหรือไม่
   - ผิว สีของลำต้น และสังเกตรูปร่างของลำต้นว่ากลมหรือเหลี่ยม
2. บันทึกผลการสังเกตลักษณะภายนอกของลำต้นเปรียบเทียบระหว่างพืชใบเลี้ยงคู่และพืชใบเลี้ยงเดี่ยวในรูปแบบของตาราง

คำถามท้ายกิจกรรม

? ลักษณะที่สำคัญของโครงสร้างภายนอกของลำต้นพืชใบเลี้ยงคู่และพืชใบเลี้ยงเดี่ยวเหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร

ตอนที่ 2 โครงสร้างภายในของลำต้น

2.1 โครงสร้างภายในปลายยอดตัดตามยาว

1. นำสไลด์ถาวรปลายยอดพืชใบเลี้ยงคู่มาศึกษาเนื้อเยื่อบริเวณต่าง ๆ ของโครงสร้างภายในของปลายยอดภายใต้กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงเชิงประกอบ
2. บันทึกผลโดยการวาดรูปหรือถ่ายรูปพร้อมชี้เนื้อเยื่อบริเวณต่าง ๆ ที่สังเกตได้โดยเปรียบเทียบกับรูป 9.18

2.2 โครงสร้างภายในของลำต้นตัดตามขวาง

1. ลำต้นพืชใบเลี้ยงคู่
   - ตัดลำต้นพืชใบเลี้ยงคู่ที่ต้องการศึกษาโครงสร้างภายในของลำต้นที่มีการเติบโตปฐมภูมิจากบริเวณใกล้ยอดหรือบริเวณเหนือแนวโค้งลงของปลายยอดแล้วแช่ลงในน้ำ
   - นำลำต้นมาตัดเป็นชิ้นบาง ๆ ตามขั้นตอนเดียวกับการศึกษาโครงสร้างภายในของราก จากกิจกรรมและข้อเสนอแนะในกิจกรรม 9.1 ตอนที่ 2

- นำสไลด์ไปส่องดูโครงสร้างภายในภายใต้กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงเชิงประกอบ
- บันทึกผลที่สังเกตได้โดยการวาดรูปหรือถ่ายรูป พร้อมชี้รายละเอียดของเนื้อเยื่อชั้นต่าง ๆ โดยเปรียบเทียบกับรูป 9.19 และ 9.20

2. ลำต้นพืชใบเลี้ยงเดี่ยว
   - นำลำต้นของพืชใบเลี้ยงเดี่ยวขนาดเล็กมาลอกใบออก จะเห็นส่วนข้อและปล้องของลำต้น
   - ตัดบริเวณกลางปล้องให้เป็นชิ้นบาง ตามขั้นตอนเดียวกับการศึกษาโครงสร้างภายในของราก จากกิจกรรม 9.1 ตอนที่ 2 ข้อ 2.2
   - นำสไลด์ที่ได้มาศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงเชิงประกอบ
   - บันทึกผลที่สังเกตได้และบันทึกรูปพร้อมชี้รายละเอียดของเนื้อเยื่อชั้นต่าง ๆ โดยเปรียบเทียบกับรูป 9.21

3. เปรียบเทียบลักษณะโครงสร้างภายในของลำต้นพืชใบเลี้ยงคู่และลำต้นพืชใบเลี้ยงเดี่ยว

คำถามท้ายกิจกรรม

? เนื้อเยื่อชั้นต่าง ๆ และการจัดเรียงตัวของวาสคิวลาร์บันเดิลในลำต้นพืชใบเลี้ยงคู่และพืชใบเลี้ยงเดี่ยวเหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร

? โครงสร้างตัดตามขวางที่เห็นในกล้องจุลทรรศน์เป็นส่วนของลำต้นใกล้ยอดหรือใกล้โคนลำต้น ทราบได้อย่างไร

? เปรียบเทียบเนื้อเยื่อชั้นต่าง ๆ ของรากและลำต้นว่าเหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร

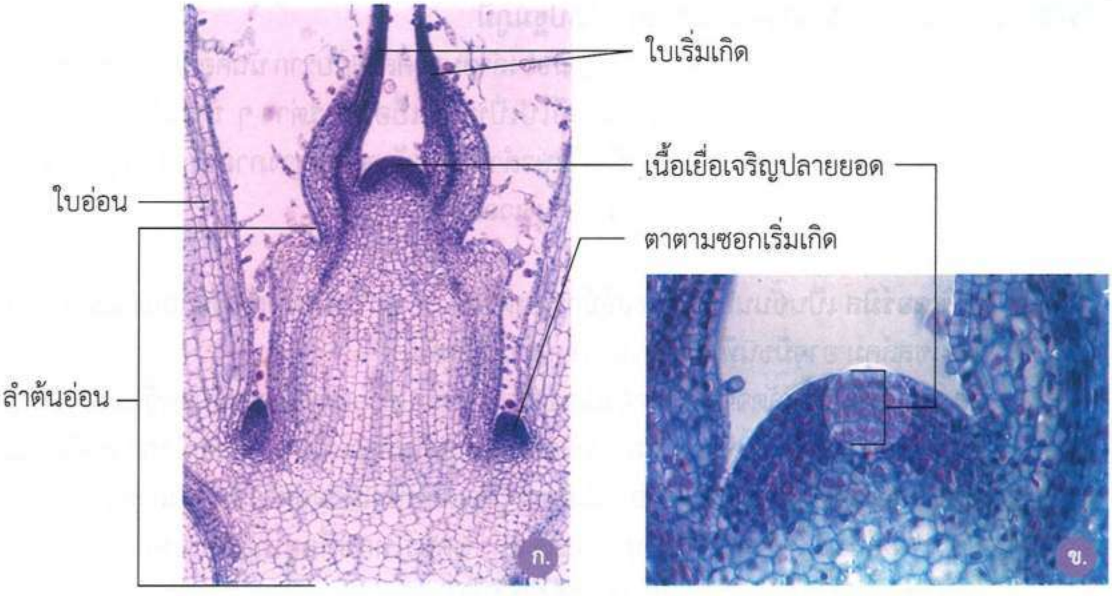
จากการศึกษากิจกรรม 9.2 ตอนที่ 1 การศึกษาโครงสร้างภายนอกของลำต้นถั่วเขียวและข้าวโพด พบว่าลำต้นถั่วเขียวมีลักษณะภายนอกที่สังเกต คือ มีข้อและปล้องไม่ชัดเจน ตำแหน่งที่เกิดใบอยู่ตรงข้อบริเวณที่มีก้านใบติดอยู่ ซอกใบมีตาตามซอกซึ่งต่อไปจะเจริญเป็นกิ่งหรือดอก ผิวของลำต้นขรุขระ มีขน สีของลำต้นมีสีเขียว ปลายยอดมีใบเกิดใหม่ขนาดเล็กซ้อนกันอยู่หุ้มยอดอัดกันแน่น ส่วนข้าวโพดมีข้อและปล้องเห็นได้ชัดเจน ตำแหน่งที่เกิดใบอยู่ตรงข้อ โดยมีก้านใบซึ่งเปลี่ยนแปลงไปเป็นกาบใบหุ้มบริเวณข้อ ไม่เห็น**ตาตามซอก** (axillary bud) โผล่ออกมา ผิวของลำต้นเรียบ สีของลำต้นมีสีเขียว ปลายยอดมีใบเกิดใหม่ขนาดเล็กซ้อนกันอยู่โดยมีใบม้วนตามยาวหุ้มยอด จากกิจกรรมนี้จะเห็นได้ว่าโครงสร้างภายนอกของลำต้นถั่วเขียวและข้าวโพดมีทั้งส่วนที่เหมือนและแตกต่างกัน

จากการทำกิจกรรม 9.2 ตอนที่ 2 ข้อ 2.1 การศึกษาสไลด์ถาวรโครงสร้างปลายยอดตัดตามยาวด้วยกล้องจุลทรรศน์ใช้แสงเชิงประกอบ **สามารถแบ่งโครงสร้างปลายยอดออกเป็นบริเวณต่าง ๆ ได้อย่างไร** สามารถศึกษาได้ในหัวข้อต่อไปนี้

โครงสร้างภายในของปลายยอดตัดตามยาว

โครงสร้างภายในของปลายยอดตัดตามยาวสามารถศึกษาได้จากโครงสร้างของปลายยอดพืชใบเลี้ยงคู่ตัดตามยาวซึ่งมีความแตกต่างจากโครงสร้างของปลายราก คือ ปลายยอดจะมีส่วนของใบและตาตามซอกแตกออกมาด้านข้างด้วย ที่บริเวณส่วนปลายยอดประกอบด้วยเซลล์เจริญทำหน้าที่แบ่งเซลล์ ดังนั้นส่วนของปลายยอดจึงมีหน้าที่สำคัญในการเพิ่มความสูงให้กับต้นพืชหรือความยาวของกิ่ง โครงสร้างของปลายยอดประกอบด้วยเนื้อเยื่อบริเวณต่าง ๆ ดังรูป 9.18 ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. **เนื้อเยื่อเจริญปลายยอด** (apical shoot meristem) อยู่บริเวณปลายสุดของลำต้น เนื้อเยื่อบริเวณนี้มีกลุ่มเซลล์เจริญที่พัฒนาไปเป็นลำต้น ใบ และตาตามซอก โดยปกติตาตามซอกจะเจริญไปเป็นกิ่ง
2. **ใบเริ่มเกิด**หรือ**เนื้อเยื่อกำเนิดใบ** (leaf primordium) อยู่ด้านข้างของเนื้อเยื่อเจริญปลายยอดที่เป็นขอบของความโค้ง ถ้าพืชที่ศึกษามีการเรียงใบบนกิ่งแบบตรงข้ามจะเห็นใบเริ่มเกิดอยู่สองข้าง หากพืชที่ศึกษามีการเรียงใบแบบสลับใบเริ่มเกิดจะมีข้างเดียว โดยใบเริ่มเกิดจะเจริญพัฒนาไปเป็นใบอ่อน บริเวณตรงกลางของโคนใบเริ่มเกิดจะเห็นเซลล์ขนาดเล็กรูปร่างยาวเรียงตัวเป็นแนวยาวจากลำต้นอ่อนขึ้นไปจนเกือบถึงส่วนปลาย เซลล์เหล่านี้ต่อไปจะเจริญไปเป็นเนื้อเยื่อท่อลำเลียงจากลำต้นสู่ใบ
3. **ใบอ่อน** (young leaf) เป็นใบที่เจริญไม่เต็มที่ เซลล์ของใบยังมีการเจริญเติบโตและเปลี่ยนสภาพต่อได้เพื่อเพิ่มความหนาและขนาดของใบ ในระยะนี้ใบอ่อนจะยังแผ่กางไม่เต็มที่ โดยที่ซอกของใบอ่อนจะมีเนื้อเยื่อต้นกำเนิดกิ่ง เรียกว่า **ตาตามซอกเริ่มเกิด** (axillary bud primordium) ต่อไปจะพัฒนาไปเป็นตาตามซอกเมื่อใบที่รองรับตาเจริญเต็มที่ ซึ่งตาตามซอกสามารถเจริญเป็นกิ่งใหม่ได้
4. **ลำต้นอ่อน** (young stem) อยู่ถัดจากตำแหน่งใบเริ่มเกิดลงมา เป็นบริเวณที่พบเซลล์ที่มีแนวการแบ่งเซลล์ตั้งฉากกับแกนยาวของลำต้น เซลล์ที่ได้จากการแบ่งจะมีการขยายขนาดทั้งด้านความยาวและความกว้างทำให้ลำต้นสูงขึ้นและมีขนาดใหญ่ขึ้น จากนั้นเซลล์จะเปลี่ยนสภาพและเจริญเต็มที่เพื่อเป็นเซลล์ชนิดต่าง ๆ ในเนื้อเยื่อถาวรเพื่อทำหน้าที่เฉพาะต่อไป



รูป 9.18 ปลายยอดพืชตัดตามยาว
ก. ปลายยอดฤาษีผสม ข. เนื้อเยื่อเจริญปลายยอด

? กลุ่มเซลล์บริเวณปลายยอดแต่ละบริเวณ มีลักษณะเหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร

? เมื่อเปรียบเทียบรูปปลายยอดกับรูปปลายราก มีลักษณะเหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร



รูป 9.19 ลำต้นพืชใบเลี้ยงคู่ระยะการเติบโตปฐมภูมิและการเติบโตทุติยภูมิ

ลำต้นพืชใบเลี้ยงคู่จะพบระยะการเติบโตของแต่ละบริเวณแตกต่างกันตามระยะห่างจากปลายยอดซึ่งหากตัดตามขวางลำต้นพืชใบเลี้ยงคู่บริเวณใกล้ยอดหรือเป็นบริเวณที่ลำต้นยังอ่อนจะพบโครงสร้างภายในของลำต้นที่มีการเติบโตปฐมภูมิซึ่งได้จากการแบ่งเซลล์ของเนื้อเยื่อเจริญปลายยอดทำให้ลำต้นหรือกิ่งมีขนาดยาวขึ้น

หากตัดตามขวางลำต้นพืชใบเลี้ยงคู่บริเวณห่างจากยอดหรือเป็นบริเวณที่ลำต้นแก่จะพบการเติบโตทุติยภูมิซึ่งได้จากการแบ่งเซลล์ของเนื้อเยื่อเจริญด้านข้างทำให้ลำต้นขยายขนาดใหญ่ขึ้น ดังรูป 9.19

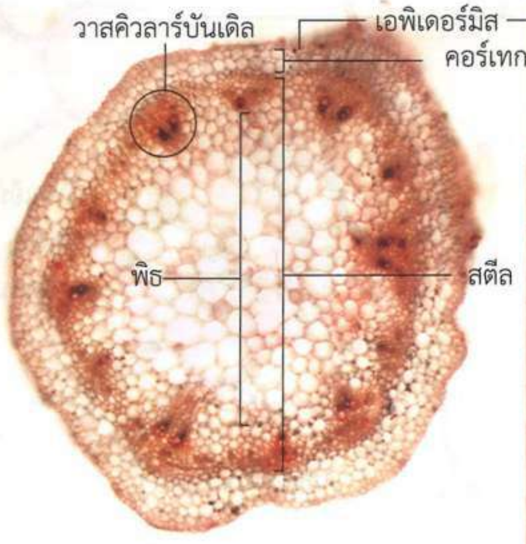
โครงสร้างภายในของลำต้นระยะที่มีการเติบโตปฐมภูมิ

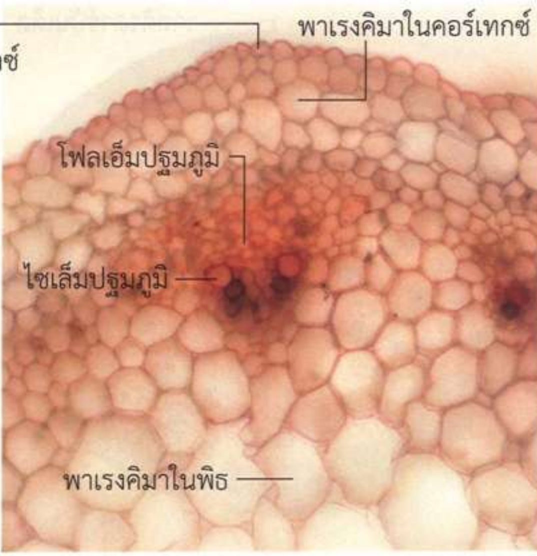
จากกิจกรรม 9.2 จะพบว่าการเติบโตปฐมภูมิของลำต้นจะคล้ายกับราก นั่นคือ บริเวณของลำต้นอ่อนที่เซลล์มีการเปลี่ยนสภาพและเจริญเต็มที่ไปเป็นเนื้อเยื่อถาวรต่าง ๆ นั้น เป็นการเจริญต่อเนื่องจากเนื้อเยื่อเจริญปลายยอด และเมื่อศึกษาลำต้นพืชตัดตามขวางภายใต้กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงเชิงประกอบ จะเห็นบริเวณหรือชั้นต่าง ๆ 3 บริเวณ ดังนี้

1. **เอพิเดอร์มิส** เป็นชั้นนอกสุด เซลล์มักเรียงตัวเป็น 1 แถว ส่วนใหญ่ประกอบด้วยเซลล์ผิวและเซลล์คุม อาจมีขนที่มีลักษณะต่าง ๆ ตามชนิดพืช
2. **คอร์เทกซ์** เป็นชั้นถัดจากเอพิเดอร์มิสเข้าไปประกอบด้วยเซลล์จำนวนน้อยชั้นจึงอาจเห็นชั้นนี้ไม่ชัดเจน เนื้อเยื่อที่พบมีหลายชนิดส่วนใหญ่เป็นพาเรงคิมา และมักมีคอลเลงคิมาอยู่ติดกับเอพิเดอร์มิสโดยรอบหรืออาจมีเฉพาะบริเวณที่เป็นเหลี่ยมหรือสันของลำต้น ในลำต้นพืชระยะอ่อนหรือในพืชล้มลุกภายในเซลล์ชั้นคอร์เทกซ์ที่อยู่ใกล้กับเอพิเดอร์มิสจะมีคลอโรพลาสต์จำนวนมากทำให้เห็นลำต้นเป็นสีเขียว
3. **สตีล** เป็นชั้นที่อยู่ถัดจากคอร์เทกซ์เข้าไป อาจแบ่งแยกชั้นสตีลออกจากคอร์เทกซ์ได้ไม่ชัดเจน โดยทั่วไปสตีลจะมีบริเวณกว้างมาก ประกอบด้วย
   3.1 **วาสคิวลาร์บันเดิล** ในพืชใบเลี้ยงคู่ที่เป็นพืชล้มลุกมีวาสคิวลาร์บันเดิลจำนวนหลายกลุ่มเรียงตัวเป็นหนึ่งวง ดังรูป 9.20 แต่ละกลุ่มหรือมัดประกอบด้วยไซเล็มปฐมภูมิอยู่ด้านใน และโฟลเอ็มปฐมภูมิอยู่ด้านนอกโดยเรียงตัวในแนวรัศมีเดียวกัน ดังรูปขยายใน 9.20 ส่วนวาสคิวลาร์บันเดิลในพืชใบเลี้ยงเดี่ยวจะเรียงตัวกระจายอยู่ทั่วเนื้อเยื่อพื้น ทำให้เห็นขอบเขตของพิธและคอร์เทกซ์ไม่ชัดเจน วาสคิวลาร์บันเดิลแต่ละมัดจะมีเวสเซลเมมเบอร์ที่มีขนาดใหญ่เป็นพิเศษจำนวน 2-3 เซลล์อยู่ในไซเล็ม ดังรูป 9.21 และอาจมีไฟเบอร์ล้อมรอบแต่ละวาสคิวลาร์บันเดิล เพื่อป้องกันหรือสร้างความแข็งแรงให้กับวาสคิวลาร์บันเดิล

   3.2 **พิธ** อยู่ชั้นในสุดที่กลางลำต้นถัดจากแนววาสคิวลาร์บันเดิลเข้าไป ส่วนใหญ่ประกอบด้วยพาเรงคิมาที่สะสมแป้งหรือสารต่าง ๆ ในพืชใบเลี้ยงคู่สามารถเห็นพิธได้ชัด ดังรูป 9.20 สำหรับพืชใบเลี้ยงเดี่ยวซึ่งวาสคิวลาร์บันเดิลเรียงตัวแบบกระจายไม่สามารถแยกบริเวณพิธได้ชัดเจน ดังรูป 9.21

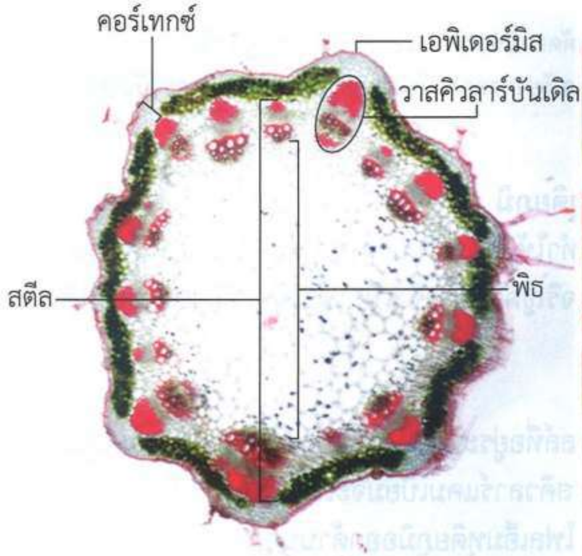
พืชใบเลี้ยงเดี่ยวบางชนิดเมื่อลำต้นมีอายุมากขึ้น พบว่าบริเวณแกนกลางลำต้นซึ่งอาจรวมทั้งพิธและเนื้อเยื่ออื่นอาจสลายไปกลายเป็นช่อง เรียกว่า **ช่องพิธ** (pith cavity) เช่นที่พบในบริเวณปล้องของหญ้าและไผ่ แต่บริเวณข้อยังคงมีพิธอยู่

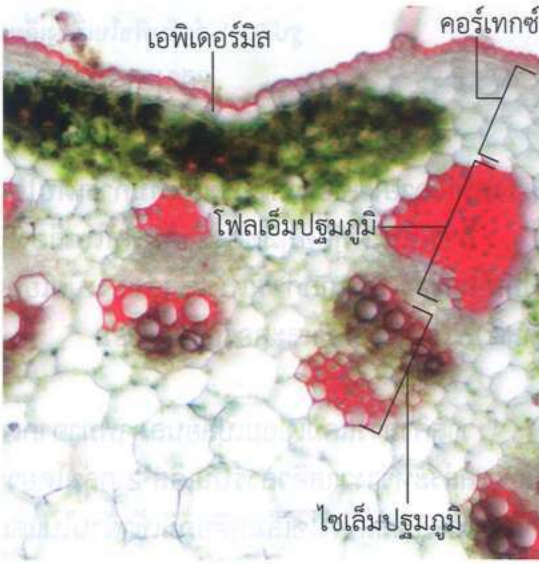




ลำต้นถั่วเขียว

รูปขยาย

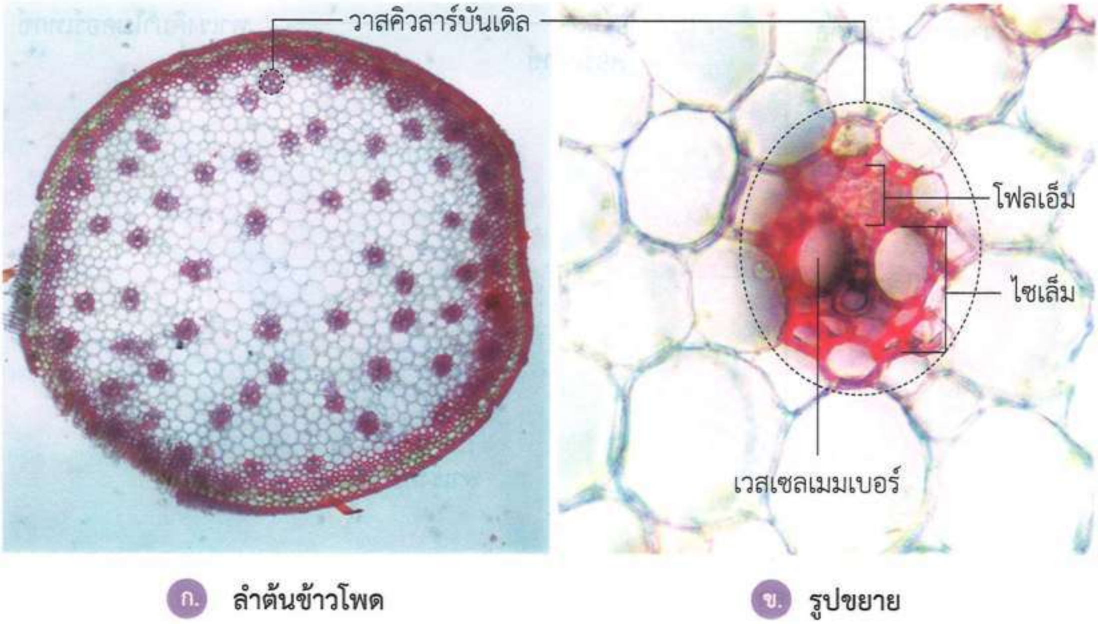




ลำต้นหมอน้อย

รูปขยาย

รูป 9.20 ลำต้นพืชใบเลี้ยงคู่ตัดตามขวางในระยะการเติบโตปฐมภูมิ แสดงวาสคิวลาร์บันเดิลเรียงเป็นวงและรูปขยายวาสคิวลาร์บันเดิล



รูป 9.21 ลำต้นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวตัดตามขวางในระยะการเติบโตปฐมภูมิ แสดงวาสคิวลาร์บันเดิลเรียงกระจายทั่วไปและรูปขยายวาสคิวลาร์บันเดิล

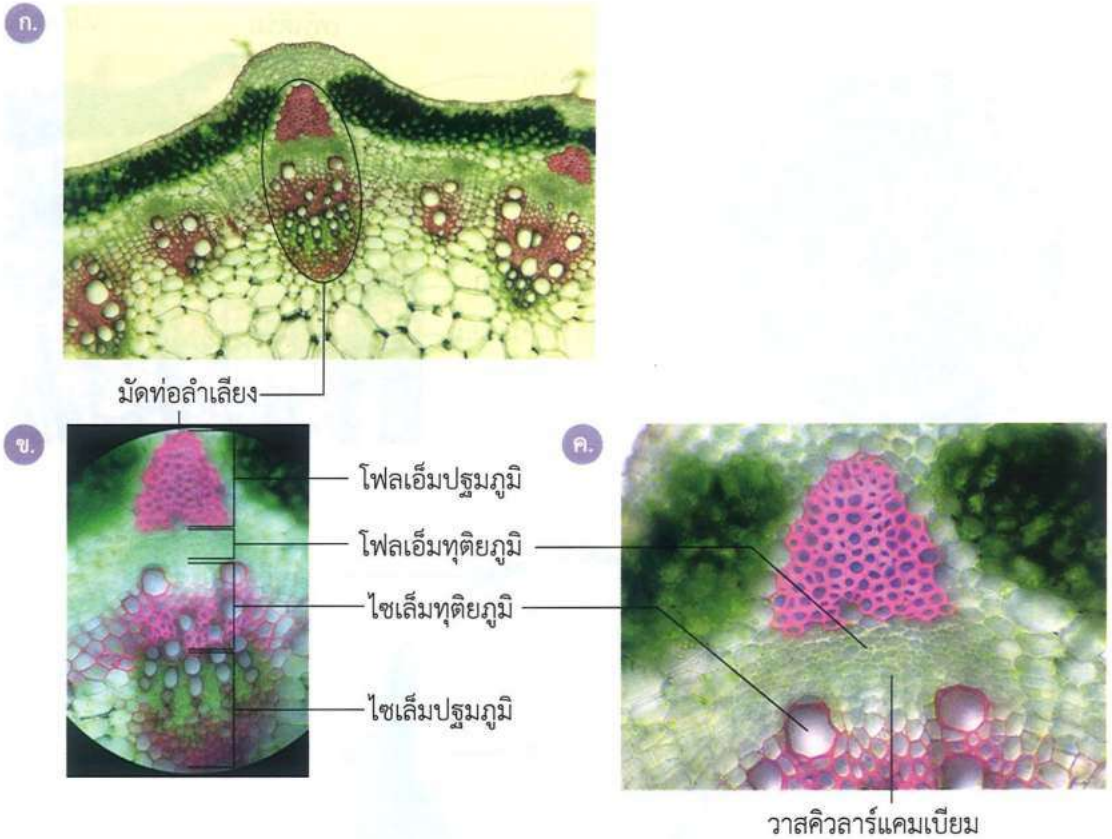
โครงสร้างภายในของลำต้นระยะที่มีการเติบโตทุติยภูมิ

การเติบโตทุติยภูมิของลำต้นพืชใบเลี้ยงคู่ทำให้ลำต้นมีขนาดใหญ่ขึ้น เนื่องจากมีการสร้างเนื้อเยื่อถาวรเพิ่มจากการแบ่งเซลล์ของเนื้อเยื่อเจริญด้านข้างซึ่งเป็นเนื้อเยื่อเจริญทุติยภูมิ ได้แก่ วาสคิวลาร์แคมเบียมและคอร์กแคมเบียม

วาสคิวลาร์แคมเบียมเปลี่ยนสภาพมาจากเซลล์ที่อยู่ระหว่างไซเล็มปฐมภูมิและโฟลเอ็มปฐมภูมิ และเซลล์ระหว่างวาสคิวลาร์บันเดิล 2 กลุ่มโดยวาสคิวลาร์แคมเบียมจะเชื่อมเรียงตัวเป็นวง และทำหน้าที่แบ่งเซลล์สร้างไซเล็มทุติยภูมิเข้าด้านในและโฟลเอ็มทุติยภูมิออกด้านนอก ดังรูป 9.22

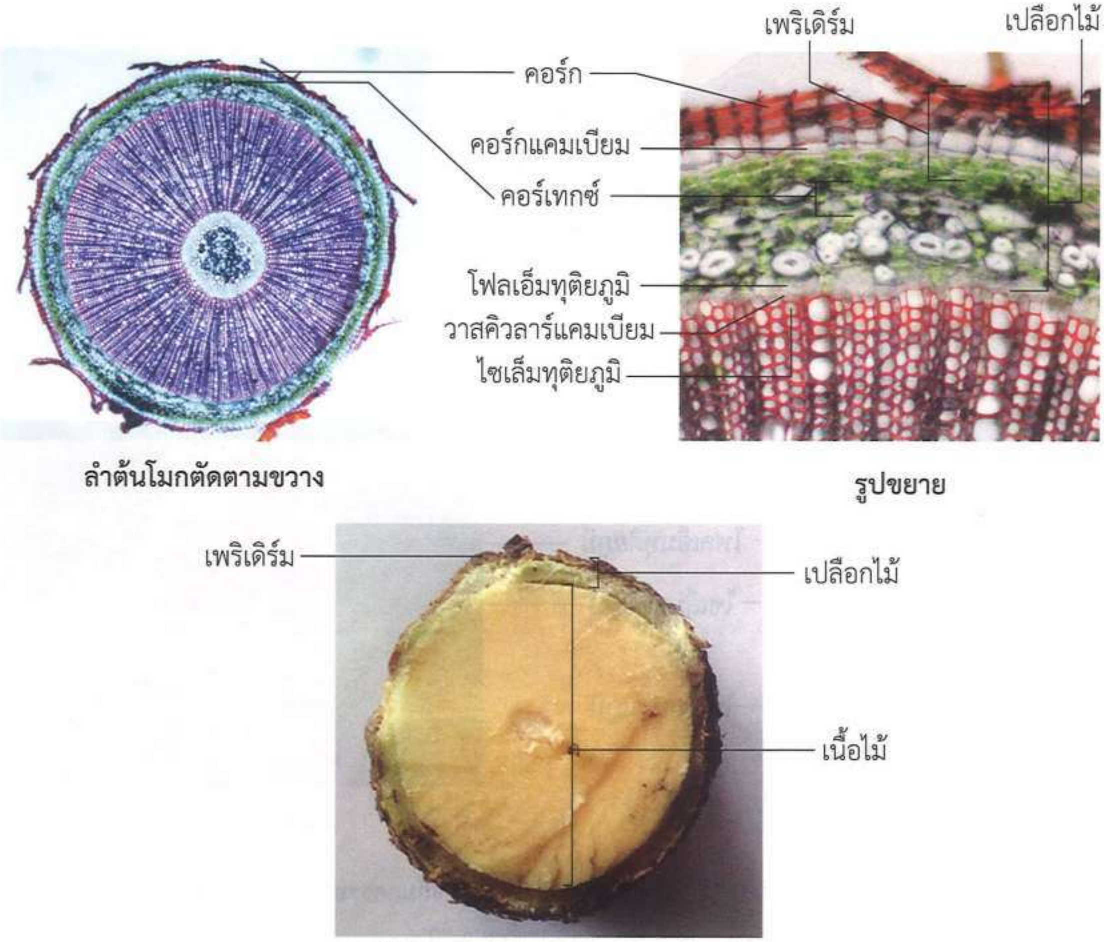
เซลล์ของไซเล็มทุติยภูมิที่มีความแข็งแรงและเพิ่มจำนวนมากขึ้นนี้จะดันเนื้อเยื่อที่อยู่ชั้นถัดไปออกด้านนอกจนทำให้เซลล์ของโฟลเอ็มปฐมภูมิซึ่งไม่แข็งแรงอาจถูกเบียดจนสลายไป หรืออาจเปลี่ยนสภาพเป็นเซลล์ที่แข็งแรงขึ้น เช่น ไฟเบอร์

ในพืชใบเลี้ยงคู่ชนิดล้มลุกมีการเติบโตทุติยภูมิน้อยจึงสร้างเนื้อเยื่อเพิ่มได้น้อย



รูป 9.22 ลำต้นพืชใบเลี้ยงคู่ชนิดพืชล้มลุกระยะที่มีการเติบโตทุติยภูมิ
ก. ลำต้นหมอน้อยตัดตามขวาง
ข. รูปขยายเนื้อเยื่อท่อลำเลียงปฐมภูมิและทุติยภูมิ
ค. รูปขยายเนื้อเยื่อท่อลำเลียงทุติยภูมิและวาสคิวลาร์แคมเบียม

สำหรับพืชใบเลี้ยงคู่ชนิดไม้ต้นหรือมี**เนื้อไม้** (wood) วาสคิวลาร์แคมเบียมจะสร้างไซเล็มทุติยภูมิและโฟลเอ็มทุติยภูมิเพิ่มขึ้น โดยการเติบโตทุติยภูมิของลำต้นของพืชประเภทนี้จะเกิดขึ้นต่อเนื่องตลอดชีวิตจึงเกิดเนื้อไม้ที่มีลักษณะเฉพาะตามชนิดพืช โดยส่วนใหญ่เซลล์ใต้เอพิเดอร์มิสเปลี่ยนสภาพเป็นคอร์กแคมเบียม เพื่อสร้างเพริเดิร์มขึ้นทดแทนทำให้ปริมาณหรือขอบเขตเนื้อเยื่อมากขึ้น ดังรูป 9.23 ส่วน**เปลือกไม้** (bark) เป็นเนื้อเยื่อทั้งหมดที่อยู่ด้านนอกของวาสคิวลาร์แคมเบียมซึ่งคือส่วนของโฟลเอ็ม เนื้อเยื่อในชั้นคอร์เทกซ์ และเนื้อเยื่อเพริเดิร์ม เปลือกไม้มีลักษณะเฉพาะตามชนิดของพืช



ลำต้นโมกตัดตามขวาง

รูปขยาย

เนื้อไม้และเปลือกไม้ของลำต้นโมก

รูป 9.23 ลำต้นพืชใบเลี้ยงคู่ชนิดไม้ต้นระยะที่มีการเติบโตทุติยภูมิ

สำหรับเนื้อไม้สามารถแบ่งได้เป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่หนึ่งเป็นไซเล็มที่มีอายุมากที่สุดจะอยู่ชั้นในสุดของลำต้น ถ้าลำต้นมีอายุมากไซเล็มที่มีอายุมากจะหยุดลำเลียงน้ำเพราะถูกอุดตัน แต่ยังทำหน้าที่ให้ความแข็งแรงและอาจสะสมสารอินทรีย์ต่าง ๆ จึงมักมองเห็นไซเล็มมีสีเข้มเรียกไซเล็มบริเวณนี้ว่า **แก่นไม้** (heartwood) ซึ่งจะมีความแข็งแรงมากกว่าบริเวณอื่น แก่นไม้จะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เนื่องจากไซเล็มชั้นถัดออกมาที่มีอายุมากขึ้นจะหยุดลำเลียงน้ำกลายเป็นแก่นไม้เพิ่มขึ้น ส่วนที่สองเป็นไซเล็มที่อยู่รอบนอกซึ่งมีสีจางกว่าชั้นในยังคงทำหน้าที่ลำเลียงน้ำและธาตุอาหารต่อไป เรียกชั้นนี้ว่า **กระพี้ไม้** (sapwood) ชั้นกระพี้ไม้จะมีความหนาค่อนข้างคงที่ ดังรูป 9.24 ก.

การสร้างเนื้อไม้ของพืชบางชนิดจะมีได้มากน้อยต่างกันในแต่ละฤดูของรอบ 1 ปี ทั้งนี้อาจขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำเป็นสำคัญ ในภาวะที่สิ่งแวดล้อมมีน้ำอุดมสมบูรณ์วาสคิวลาร์แคมเบียมจะแบ่งเซลล์ได้ไซเล็มจำนวนมากและเซลล์มีขนาดใหญ่ทำให้เห็นเป็นแถบสีจางและเป็นบริเวณกว้างในเนื้อไม้ ส่วนในภาวะที่สิ่งแวดล้อมแห้งแล้งและขาดแคลนน้ำ วาสคิวลาร์แคมเบียมจะแบ่งเซลล์ได้ไซเล็มจำนวนน้อยและเซลล์มีขนาดเล็กทำให้เห็นเป็นแถบสีเข้มและเป็นบริเวณแคบ ลักษณะดังกล่าวทำให้เนื้อไม้มีสีจางและมีสีเข้มสลับกันมองเห็นเป็นวงเรียกว่า **วงปี** (annual ring) ดังรูป 9.24 ข.



รูป 9.24 เนื้อไม้ และเปลือกไม้ของลำต้นพืชที่มีอายุมาก
ก. ลำต้นตัดตามขวาง ข. รูปขยายส่วนของวงปี

? จำนวนวงปีของต้นไม้บอกอะไรได้บ้าง

? ความกว้างของชั้นวงปีที่เกิดจากไซเล็มที่มีสีจางบอกให้ทราบเรื่องอะไร

ลำต้นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวทั่วไป มักจะไม่มีการเติบโตทุติยภูมิ ยกเว้นพืชบางชนิด เช่น จันทน์ผา หมากผู้หมากเมีย ปาล์ม ไผ่ มะพร้าว เป็นต้น แต่การเติบโตทุติยภูมิที่พบในพืชใบเลี้ยงเดี่ยวมีลักษณะและขั้นตอนแตกต่างจากพืชใบเลี้ยงคู่

ชวนคิด

ให้นักเรียนยกตัวอย่างการใช้ประโยชน์จากลำต้นพืชใบเลี้ยงคู่และลำต้นพืชใบเลี้ยงเดี่ยว โดยใช้ความรู้เกี่ยวกับโครงสร้างของลำต้นเพื่ออธิบายเหตุผลว่า เพราะเหตุใดพืชชนิดดังกล่าวจึงเหมาะสมกับการใช้ประโยชน์ในด้านนั้น

ตรวจสอบความเข้าใจ

? จงอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างเนื้อเยื่อเจริญปลายยอดกับการเติบโตปฐมภูมิของลำต้น และเนื้อเยื่อเจริญด้านข้างกับการเติบโตทุติยภูมิของลำต้น

ความรู้เพิ่มเติม

ลำต้นของพืชทั่วไปหมายถึงส่วนแกนหลักของพืชที่อยู่เหนือผิวดิน แต่ลำต้นพืชบางชนิดมีรูปร่างแตกต่างและทำหน้าที่ต่างจากลำต้นเหนือผิวดินที่พบได้ทั่วไป ซึ่งพบได้ทั้งลำต้นที่เจริญอยู่เหนือระดับผิวดิน และลำต้นที่เจริญอยู่ใต้ระดับผิวดิน

ตัวอย่างลำต้นที่เจริญอยู่เหนือระดับผิวดิน



กระบองเพชร

ลำต้นคล้ายใบ (cladophyll) เป็นลำต้นที่มีสีเขียวทำหน้าที่สังเคราะห์ด้วยแสงแทนใบ และทำหน้าที่เก็บรักษาน้ำ พืชที่มีลำต้นแบบนี้มักเจริญเติบโตในถิ่นที่อยู่ที่มีสภาพแห้งแล้ง และอุณหภูมิสูง เช่น กระบองเพชร



เฟื่องฟ้า

หนามจากลำต้น (thorn) เป็นกิ่งบนลำต้นของพืชบางชนิดที่เปลี่ยนสภาพไปเป็นหนาม เช่น เฟื่องฟ้า มะกรูด มะนาว ส้ม



แตงกวา

ลำต้นมือเกาะ (stem tendril) เป็นส่วนของลำต้นที่เปลี่ยนแปลงเป็นมือเกาะ เช่น แตงกวา ตำลึง องุ่น

ตัวอย่างลำต้นที่เจริญอยู่ใต้ระดับผิวดิน



ข่า

เหง้า (rhizome) เป็นลำต้นใต้ดินที่เจริญเติบโตไปตามผิวดินหรืออยู่ใต้ดิน อาจสะสมอาหารหรือไม่สะสมอาหารก็ได้ มีข้อและปล้องชัด เช่น ข่า ขิง



เผือก

หัว (corm) เป็นลำต้นใต้ดินทำหน้าที่สะสมอาหาร มีรูปร่างค่อนข้างกลม มีข้อและปล้องเห็นชัดเจน เช่น เผือก แห้ว



มันฝรั่ง

หัวแบบมันฝรั่ง (tuber) เป็นลำต้นใต้ดินทำหน้าที่สะสมอาหาร มีรูปร่างค่อนข้างกลม มีตาอยู่รอบหัว

9.4 โครงสร้างและการเจริญเติบโตของใบ

ipst.me/9192

ใบของพืชทั่วไปเป็นอวัยวะที่มีลักษณะแผ่เป็นแผ่นแบนสีเขียว ทำหน้าที่ในการดูดกลืนแสงเพื่อเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานเคมีโดยผ่านกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง และเป็นช่องทางในการแลกเปลี่ยนแก๊สและคายน้ำ

โครงสร้างของใบประกอบด้วยเนื้อเยื่ออะไร มีความสัมพันธ์กับการสังเคราะห์ด้วยแสงและการแลกเปลี่ยนแก๊สและคายน้ำอย่างไร

กิจกรรม 9.3 โครงสร้างภายนอกและโครงสร้างภายในของใบ

จุดประสงค์

1. อธิบาย และเปรียบเทียบโครงสร้างภายนอกของใบพืชใบเลี้ยงคู่และใบพืชใบเลี้ยงเดี่ยว
2. เตรียมสไลด์ใบพืชใบเลี้ยงคู่และใบพืชใบเลี้ยงเดี่ยวตัดตามขวางเพื่อศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงเชิงประกอบ บันทึกรูปจากกล้องจุลทรรศน์
3. เปรียบเทียบโครงสร้างภายในของใบพืชใบเลี้ยงคู่และใบพืชใบเลี้ยงเดี่ยวตัดตามขวาง

วัสดุและอุปกรณ์

1. ใบไม้ชนิดต่าง ๆ
   - พืชใบเลี้ยงคู่ เช่น หมอน้อย โหระพา เข็ม โมก ฟักทอง ตำลึง คะน้า
   - พืชใบเลี้ยงเดี่ยว เช่น ข้าวโพด หญ้าขน ว่านกาบหอย บัวสาย
2. กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงเชิงประกอบ
3. สไลด์และกระจกปิดสไลด์
4. ใบมีดโกน
5. พู่กัน
6. เข็มเขี่ย
7. หลอดหยด
8. จานเพาะเชื้อ

9. ทิชชู
10. บีกเกอร์ขนาด 50 mL หรือขวดแก้วปากกว้าง สำหรับใส่น้ำ
11. สีซาฟรานินความเข้มข้น 1% หรือน้ำยาอุทัย
12. น้ำ

วิธีการทำกิจกรรม

ตอนที่ 1 โครงสร้างภายนอกของใบพืชใบเลี้ยงคู่และใบพืชใบเลี้ยงเดี่ยว

1. เลือกศึกษาใบพืชใบเลี้ยงคู่และพืชใบเลี้ยงเดี่ยวอย่างละ 1 ชนิด
2. สังเกตโครงสร้างภายนอกของใบพืช ดังนี้ รูปร่างของแผ่นใบ ก้านใบ และลักษณะของเส้นใบ ของใบพืชแต่ละชนิด บันทึกผลจากการสังเกตลักษณะภายนอกของใบเปรียบเทียบระหว่างพืชใบเลี้ยงคู่และพืชใบเลี้ยงเดี่ยวในรูปแบบของตาราง

คำถามท้ายกิจกรรม

? ลักษณะใบของพืชแต่ละชนิดเหมือนหรือต่างกันอย่างไร

ตอนที่ 2 โครงสร้างภายในของใบพืชใบเลี้ยงคู่และใบพืชใบเลี้ยงเดี่ยว

1. เลือกใบของพืชใบเลี้ยงคู่และพืชใบเลี้ยงเดี่ยวอย่างละ 1 ชนิด มาศึกษาโครงสร้างภายในโดยปฏิบัติดังนี้
   - ใบที่มีลักษณะบาง ให้ม้วนใบไม้ตามความยาวให้แน่นเป็นท่อนกลม ตัดปลายข้างหนึ่งทิ้งไปประมาณ 1/3 ของความยาวใบ
   - ใบที่มีลักษณะหนาและแข็ง เช่น ใบว่านกาบหอย และใบที่มีขนาดใหญ่ เช่น ใบคะน้า ให้ตัดแบ่งเป็นชิ้นเล็กพอจับได้ถนัด เช่น ความกว้าง 1 cm × ความยาว 3 cm โดยให้มีเส้นกลางใบอยู่ตรงกลางหรือใช้วิธีตามข้อเสนอแนะในส่วนท้ายของกิจกรรม 9.1
2. ใช้ใบมีดโกนตัดตามขวางใบที่ม้วนไว้หรือชิ้นของใบที่ตัดแบ่งไว้ให้ได้ชิ้นบางที่สุดเท่าที่จะบางได้ จำนวนหลาย ๆ ชิ้น ใส่ลงในจานเพาะเชื้อที่มีน้ำ
3. เลือกชิ้นส่วนของใบที่ตัดเป็นชิ้นบางโดยใช้พู่กันแตะแล้วแช่ในน้ำสีที่ใส่ในจานเพาะเชื้อ จากนั้นใช้พู่กันเลือกชิ้นที่ย้อมสีแล้วใส่ลงในจานเพาะเชื้อที่มีน้ำเพื่อล้างสีส่วนเกิน เลือกชิ้นส่วนที่บางและสมบูรณ์ซึ่งย้อมสีแล้วโดยใช้พู่กันจำนวน 3-4 ชิ้น วางลงบนหยดน้ำบนสไลด์แล้วปิดด้วยกระจกปิดสไลด์ อย่าให้มีฟองอากาศอยู่ภายใน

4. นำสไลด์ไปส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ใช้แสงเชิงประกอบ เริ่มจากกำลังขยายต่ำก่อนเพื่อเลือกศึกษาชิ้นเนื้อเยื่อที่บางและสมบูรณ์ที่สุด แล้วจึงเปลี่ยนเป็นกำลังขยายสูงขึ้นเพื่อศึกษารายละเอียดของโครงสร้างภายในของใบให้ได้มากขึ้น จากนั้นบันทึกผลการศึกษาโดยการวาดรูปหรือถ่ายรูปพร้อมชี้บอกรายละเอียด
5. บันทึกรายละเอียดเปรียบเทียบเนื้อเยื่อแต่ละชั้นของใบพืชใบเลี้ยงคู่และใบพืชใบเลี้ยงเดี่ยวโดยเปรียบเทียบกับรูป 9.26

คำถามท้ายกิจกรรม

? วาสคิวลาร์บันเดิลในเส้นใบมีการเรียงตัวแตกต่างจากรากและลำต้นอย่างไร

จากกิจกรรม 9.3 พบว่าใบพืชใบเลี้ยงคู่และใบพืชใบเลี้ยงเดี่ยวมีโครงสร้างภายนอกและการจัดเรียงเนื้อเยื่อของโครงสร้างภายในแตกต่างกัน แต่ยังมีลักษณะร่วมของโครงสร้างใบโดยสามารถศึกษาได้จากใบที่เจริญเต็มที่ซึ่งสังเกตได้จากสีของใบจะเขียวเข้มกว่าสีของใบอ่อนในต้นเดียวกัน

การเจริญเติบโตของใบ

ใบมีต้นกำเนิดมาจากใบเริ่มเกิดหรือเนื้อเยื่อกำเนิดใบ โดยใบเริ่มเกิดจะเจริญและพัฒนาไปเป็นใบอ่อน บริเวณตรงกลางของโคนใบเริ่มเกิดจะเห็นเซลล์ขนาดเล็กรูปร่างยาวเรียงตัวเป็นแนวยาวจากลำต้นอ่อนขึ้นไปจนเกือบถึงส่วนปลาย ดังรูป 9.18 เซลล์เหล่านี้ต่อไปจะเจริญไปเป็นเนื้อเยื่อท่อลำเลียงจากลำต้นสู่ใบ จากนั้นเซลล์ของใบอ่อนเจริญเติบโตและเปลี่ยนสภาพต่อจนกระทั่งเซลล์เจริญเต็มที่ได้เป็นใบที่เจริญเต็มที่และมีสีเขียวเข้ม

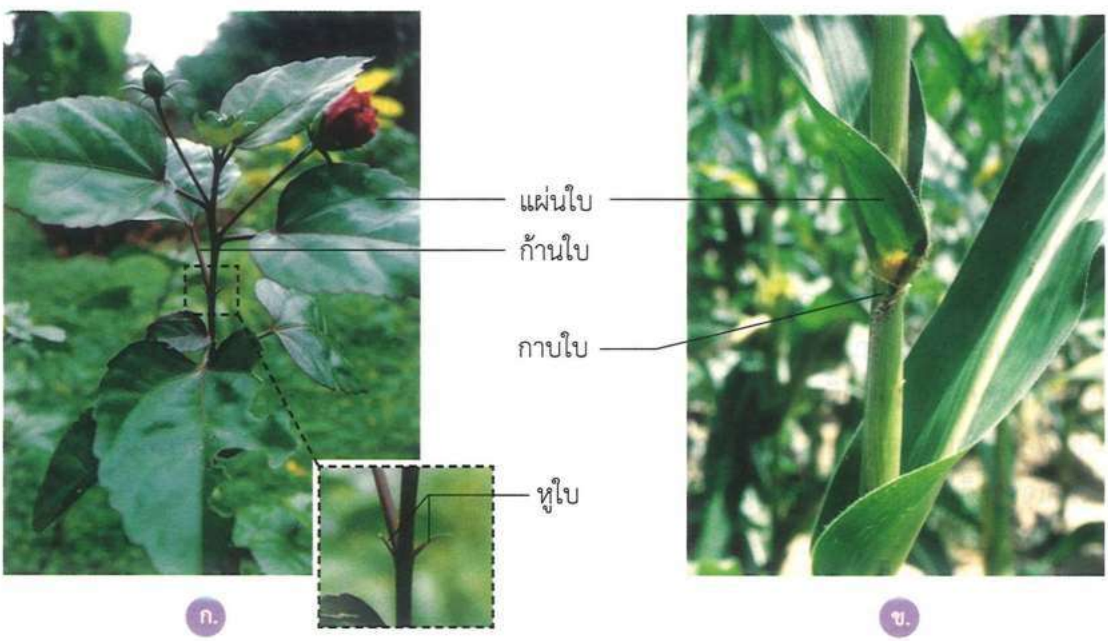
โครงสร้างภายนอกของใบ

ใบของพืชส่วนใหญ่ประกอบด้วย 2 ส่วน ดังรูป 9.25 มีรายละเอียดดังนี้

1. **ก้านใบ** (petiole) เป็นส่วนที่ด้านหนึ่งติดกับลำต้นหรือกิ่งและอีกด้านหนึ่งติดกับแผ่นใบที่ซอกก้านใบมีตาตามซอก พืชใบเลี้ยงเดี่ยวอาจมีหรือไม่มีก้านใบ ก้านใบอาจแผ่ออกเป็นแผ่น เรียก **กาบใบ** (leaf sheath) เช่น ข้าวโพด กล้วย
2. **แผ่นใบ** (blade) เป็นส่วนที่แผ่เป็นแผ่นแบน แผ่นใบของพืชแต่ละชนิดจะมีขนาดความหนา และลักษณะรูปร่างแตกต่างกัน ลักษณะแบนของแผ่นใบมีประโยชน์ในการช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวเพื่อรับแสงมาใช้เป็นแหล่งพลังงานในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชและช่วยในการระบายความร้อน

แผ่นใบจะมี**เส้นใบ** (vein) แตกแขนงไปทั่วทั้งแผ่นใบ โดยตรงกลางแผ่นใบจะมี**เส้นกลางใบ** (midrib) เชื่อมต่อกับปลายของก้านใบจนตลอดความยาวของแผ่นใบ เส้นกลางใบเป็นเส้นใบที่มีขนาดใหญ่ที่สุด ต่อจากส่วนของเส้นกลางใบจะมีเส้นใบและ**เส้นใบย่อย** (veinlet) ที่มีขนาดใหญ่เล็กลดหลั่นกันไปเป็นส่วนประกอบโครงสร้างของแผ่นใบ

ใบบางชนิดพบ**หูใบ** (stipule) เป็นส่วนของใบที่เจริญมาพร้อมกันกับส่วนอื่นและเจริญได้เร็วกว่า มีหน้าที่หุ้มหรือป้องกันส่วนอื่นของใบขณะยังอ่อนอยู่เอาไว้ หูใบมีหลายลักษณะ เช่น อาจเป็นแผ่นคล้ายแผ่นใบ เป็นริ้ว โดยมีขนาดและสีที่แตกต่างกันขึ้นกับชนิดของพืช พืชที่พบหูใบ เช่น ชบา โพทะเล ถั่วเขียว กุหลาบ



รูป 9.25 โครงสร้างภายนอกของใบ
ก. ใบพืชใบเลี้ยงคู่ (ชบา) ข. ใบพืชใบเลี้ยงเดี่ยว (ข้าวโพด)

? การที่ใบของพืชมีลักษณะเป็นแผ่นแบนเหมาะสมต่อการสร้างอาหารของพืชอย่างไร

? การที่เส้นใบแตกแขนงไปทั่วแผ่นใบช่วยส่งเสริมการทำหน้าที่ของใบอย่างไร

ความรู้เพิ่มเติม

ใบของพืชแบ่งประเภทได้ตามจำนวนแผ่นใบที่ติดอยู่ที่ก้านใบ 1 ก้าน พืชที่มีแผ่นใบ 1 แผ่น ติดอยู่ที่ก้านใบ เรียกว่า ใบเดี่ยว (simple leaf) เช่น มะม่วง มันสำปะหลัง มะยม พริก ชบา หูกวาง โดยแผ่นใบจะมีลักษณะแตกต่างกัน ส่วนพืชที่มีแผ่นใบหลายแผ่นหรือใบย่อย (leaflet) ติดอยู่ที่ก้านใบ เรียกว่า ใบประกอบ (compound leaf) เช่น อัญชัน หางนกยูงไทย มะขาม มะพร้าว ราชพฤกษ์ โดยที่ซอกของใบย่อยไม่มีตาตามซอกของใบ ใบย่อยอาจมีก้านใบชัดเจน หรือมีแต่สั้นมาก หรือไม่มีเลย

ใบเดี่ยว



มะม่วง

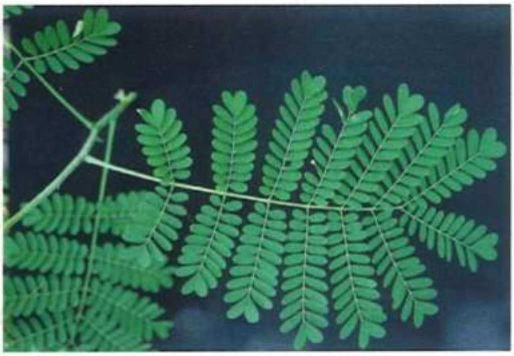


มันสำปะหลัง

ใบประกอบ



อัญชัน



หางนกยูงไทย

โครงสร้างภายในของใบ

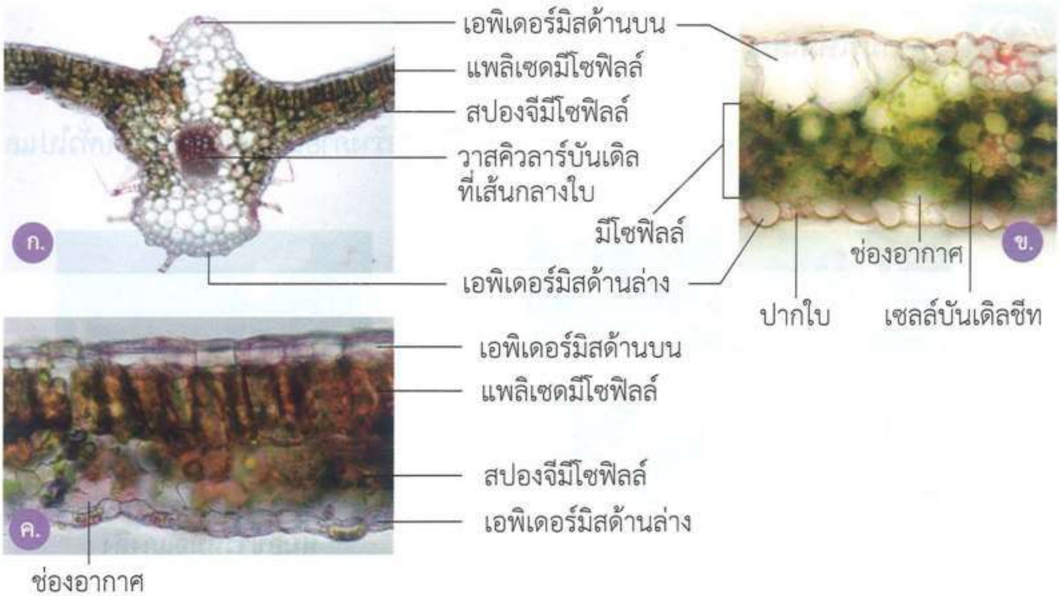
โครงสร้างภายในของใบพืชใบเลี้ยงคู่และใบพืชใบเลี้ยงเดี่ยวตัดตามขวาง ประกอบด้วยเนื้อเยื่อ 3 กลุ่ม (รูป 9.26) ดังนี้

1. **เอพิเดอร์มิส** อยู่ชั้นนอกสุดประกอบด้วยเซลล์ผิว เซลล์คุม **เซลล์ข้างเคียงเซลล์คุม** (subsidiary cell) และอาจมีขนหรือต่อม ผิวด้านนอกของเอพิเดอร์มิสมีสารคิวทินเคลือบอยู่เพื่อป้องกันการระเหยของน้ำ ใบที่เป็นแผ่นแบนมี**เอพิเดอร์มิสด้านบน** (upper epidermis) และ**เอพิเดอร์มิสด้านล่าง** (lower epidermis) ส่วนใหญ่ปากใบจะพบมากที่เอพิเดอร์มิสด้านล่าง โดยบริเวณถัดเข้าไปจากปากใบอาจพบ**ช่องอากาศ** (air space)

2. **มีโซฟิลล์** (mesophyll) อยู่ระหว่างชั้นเอพิเดอร์มิสด้านบนและด้านล่าง ประกอบด้วยเซลล์พาเรงคิมาที่มีคลอโรพลาสต์จำนวนมาก จึงทำหน้าที่สังเคราะห์ด้วยแสง ในพืชใบเลี้ยงคู่โดยทั่วไปพบเซลล์ในมีโซฟิลล์รูปร่างแตกต่างกันเป็น 2 แบบ คือ
   2.1 **แพลิเซดมีโซฟิลล์** (palisade mesophyll) มักอยู่ติดกับเอพิเดอร์มิสด้านบน ประกอบด้วยเซลล์พาเรงคิมา รูปร่างยาว เรียงตัวเป็นแถวตั้งฉากกับผิวใบ โดยผนังเซลล์ด้านบนติดเอพิเดอร์มิสด้านบน ผนังเซลล์ด้านล่างติดเซลล์ด้านล่าง ผนังเซลล์ด้านข้างจะไม่สัมผัสกัน และมีระยะห่างกันค่อนข้างสม่ำเสมอ แพลิเซดมีโซฟิลล์อาจมี 1 แถวหรือมากกว่า ภายในเซลล์มีคลอโรพลาสต์หนาแน่นมาก
   2.2 **สปองจีมีโซฟิลล์** (spongy mesophyll) อยู่ถัดจากแพลิเซดมีโซฟิลล์ลงไปจนถึงชั้นเอพิเดอร์มิสด้านล่าง ประกอบด้วยเซลล์ที่มีรูปร่างไม่แน่นอน ช่องว่างระหว่างเซลล์กว้าง ซึ่งในพืชบางชนิดมีการเรียงตัวอย่างหลวม ๆ จึงทำให้ช่องว่างระหว่างเซลล์กว้างมากจนเห็นเป็นช่องอากาศ ภายในเซลล์มีคลอโรพลาสต์หนาแน่นเช่นกันแต่น้อยกว่าแพลิเซดมีโซฟิลล์

   สำหรับใบพืชใบเลี้ยงเดี่ยว มีโซฟิลล์มักประกอบด้วยเซลล์ที่มีลักษณะคล้ายกัน ไม่สามารถแยกเป็นพาลิเซดมีโซฟิลล์ หรือสปองจีมีโซฟิลล์ได้เหมือนพืชใบเลี้ยงคู่

3. **วาสคิวลาร์บันเดิล**ของพืชใบเลี้ยงคู่และพืชใบเลี้ยงเดี่ยวมีหลายกลุ่มเรียงเป็นแนวระนาบเดียวตามแนวแผ่นใบ มีขนาดกลุ่มแตกต่างกัน วาสคิวลาร์บันเดิลขนาดใหญ่อยู่บริเวณเส้นกลางใบ ที่เหลือมีขนาดเล็กลดหลั่นกันไปอยู่ที่บริเวณเส้นใบและเส้นใบย่อย ประกอบด้วยไซเล็มและโฟลเอ็ม ในพืชบางชนิดที่เป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวจะพบ**เซลล์บันเดิลชีท** (bundle sheath cell) ล้อมรอบวาสคิวลาร์บันเดิล เช่น ข้าวโพด อ้อย ข้าว ข้าวฟ่าง การะเกด



รูป 9.26 โครงสร้างภายในของใบพืชตัดตามขวาง
ก. ใบพืชใบเลี้ยงคู่ (หมอน้อย) ข. ใบพืชใบเลี้ยงเดี่ยว (ข้าวโพด) ค. รูปขยายใบหมอน้อย

ชวนคิด

ให้นักเรียนยกตัวอย่างการใช้ประโยชน์จากใบพืชใบเลี้ยงคู่และใบพืชใบเลี้ยงเดี่ยว โดยใช้ความรู้เกี่ยวกับโครงสร้างของใบเพื่ออธิบายเหตุผลว่าเพราะเหตุใดพืชชนิดดังกล่าวจึงเหมาะสมกับการใช้ประโยชน์ในด้านนั้น

ตรวจสอบความเข้าใจ

? โครงสร้างและการเรียงตัวของเซลล์ในเนื้อเยื่อชั้นต่าง ๆ สัมพันธ์กับหน้าที่ของใบอย่างไร

แหล่งเรียนรู้เพิ่มเติม

โครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริ สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี เป็นอีกหนึ่งโครงการที่ตระหนักถึงความสำคัญของทรัพยากรพืช โดยมุ่งเน้นให้เกิดการอนุรักษ์และพัฒนาทรัพยากรพันธุกรรมพืชเพื่อให้เกิดประโยชน์ถึงมหาชนชาวไทย และมีการจัดทำคู่มือดำเนินงานสวนพฤกษศาสตร์โรงเรียนขึ้น ซึ่งสามารถศึกษาตัวอย่างกิจกรรมได้ในภาคผนวก หรือดาวน์โหลดรายละเอียดเอกสารฉบับสมบูรณ์ได้จาก http://ipst.me/7620

ความรู้เพิ่มเติม

นอกจากใบที่มีรูปร่างเป็นแผ่นแบน ใบพืชบางชนิดยังมีโครงสร้างภายนอกแตกต่างจากใบทั่วไป และสามารถทำหน้าที่อื่นได้ ดังนี้



ดองดึง

ใบมือเกาะ (leaf tendril) เป็นใบที่ทำหน้าที่ช่วยยึดเกาะ พยุงลำต้น หรือเลื้อยพัน เช่น ดองดึง ถั่วลันเตา พวงแก้วกุดั่น



หม้อข้าวหม้อแกงลิง

ใบดักจับแมลง (carnivorous leaf) เป็นใบที่ทำหน้าที่ดักจับสัตว์ขนาดเล็ก เช่น หม้อข้าวหม้อแกงลิง กาบหอยแครง



กระบองเพชร

หนาม (spine) เป็นใบที่ลดรูปเป็นหนามเพื่อลดการคายน้ำของพืชที่เจริญในที่แห้งแล้งและป้องกันอันตรายจากสัตว์ที่มากัดกิน เช่น กระบองเพชร



หอม

ใบสะสมอาหาร (storage leaf) เป็นใบที่ทำหน้าที่สะสมอาหารหรือน้ำ เช่น หอม ว่านหางจระเข้

ตรวจสอบความเข้าใจ

? โครงสร้างของราก ลำต้น และใบ สัมพันธ์กับหน้าที่อย่างไร

? การทำหน้าที่ร่วมกันของราก ลำต้น และใบ มีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของพืชอย่างไร

พืชแต่ละชนิดประกอบด้วยชนิดของเนื้อเยื่อเจริญและเนื้อเยื่อถาวรที่คล้ายกัน แต่มีจำนวนและรูปแบบการจัดเรียงของเนื้อเยื่อพืชที่แตกต่างกันทำให้พืชแต่ละชนิดเหมาะกับการใช้ประโยชน์ที่แตกต่างกัน ซึ่งการศึกษาโครงสร้างภายในของพืชสามารถใช้ความรู้เรื่องเนื้อเยื่อพืชเป็นหนึ่งในหลักฐานทางวิทยาศาสตร์เพื่อสนับสนุนการใช้ประโยชน์ของพืชแต่ละชนิดได้ ดังเช่นในรูปตัวอย่างจากส่วนนำของบทจะเห็นว่า เนื้อเยื่อของลำต้นไผ่มีไฟเบอร์ เวสเซลเมมเบอร์ จำนวนมาก ซึ่งเป็นเซลล์ที่มีผนังเซลล์ที่แข็งแรง ทำให้ลำต้นยืดหยุ่น เหนียว เหมาะสำหรับนำมาใช้ทำเครื่องจักสานได้

ส่วนการที่พืชแต่ละชนิดมีโครงสร้างภายในที่ประกอบด้วยเนื้อเยื่อที่คล้ายกันทำให้พืชทุกชนิดสามารถลำเลียง สังเคราะห์ด้วยแสง และทำหน้าที่อื่น ๆ เพื่อให้สามารถมีชีวิตอยู่ได้ **โครงสร้างภายในของราก ลำต้น และใบ สำคัญต่อกระบวนการในการดำรงชีวิตของพืชดอก เช่น การลำเลียงของพืชดอก การสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชดอก อย่างไร**

สรุปเนื้อหาภายในบทเรียน

1. เนื้อเยื่อพืชแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ เนื้อเยื่อเจริญและเนื้อเยื่อถาวร
2. เนื้อเยื่อเจริญแบ่งเป็นเนื้อเยื่อเจริญส่วนปลาย เนื้อเยื่อเจริญด้านข้าง และเนื้อเยื่อเจริญเหนือข้อ
3. เนื้อเยื่อถาวรเปลี่ยนแปลงมาจากเนื้อเยื่อเจริญ เนื้อเยื่อถาวรแบ่งได้เป็น 3 ระบบ คือ ระบบเนื้อเยื่อผิว ระบบเนื้อเยื่อพื้น และระบบเนื้อเยื่อท่อลำเลียง ซึ่งทำหน้าที่ต่างกัน
4. รากเป็นอวัยวะที่งอกออกจากเมล็ดเจริญลงสู่ดินตามแรงโน้มถ่วงของโลก ทำหน้าที่ดูดน้ำและธาตุอาหารเพื่อลำเลียงไปยังส่วนต่าง ๆ ของพืช รวมทั้งยึดลำต้นให้ติดกับพื้นดินหรือค้ำจุนลำต้นให้พืชเจริญเติบโตอยู่กับที่ได้
5. โครงสร้างภายในของปลายรากที่ตัดตามยาวแบ่งเป็นบริเวณต่าง ๆ เรียงลำดับจากปลายสุดของราก คือ หมวกราก บริเวณการแบ่งเซลล์ บริเวณการยืดตามยาวของเซลล์ และบริเวณการเปลี่ยนสภาพและการเจริญเต็มที่ของเซลล์
6. โครงสร้างภายในของรากระยะการเติบโตปฐมภูมิ เมื่อตัดตามขวางจะเห็นโครงสร้างแบ่งเป็น 3 ชั้น เรียงจากด้านนอกเข้าไป คือ เอพิเดอร์มิส คอร์เทกซ์ และสตีล ในสตีลจะพบวาสคิวลาร์บันเดิลที่มีลักษณะแตกต่างกันในพืชใบเลี้ยงคู่และพืชใบเลี้ยงเดี่ยว

7. โครงสร้างภายในของรากระยะการเติบโตทุติยภูมิ เอพิเดอร์มิสจะถูกแทนที่ด้วยเพริเดิร์ม ซึ่งมีคอร์กเป็นเนื้อเยื่อสำคัญ คอร์เทกซ์อาจมีการเปลี่ยนแปลงเกิดเซลล์ที่ทำให้มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น หรือเกิดเซลล์ที่สะสมอาหารเพิ่มขึ้น ส่วนลักษณะวาสคิวลาร์บันเดิลจะเปลี่ยนไปเนื่องจากมีการสร้างเนื้อเยื่อท่อลำเลียงเพิ่มขึ้น

8. ลำต้นเป็นอวัยวะที่โดยทั่วไปเจริญอยู่เหนือระดับผิวดินถัดขึ้นมาจากราก ทำหน้าที่สร้างใบ ชูกิ่งก้าน ใบ ดอก และผล และเป็นเส้นทางลำเลียงน้ำ ธาตุอาหาร และอาหารส่งไปยังส่วนต่าง ๆ ของพืช

9. โครงสร้างภายในของลำต้นระยะการเติบโตปฐมภูมิ เมื่อตัดตามขวางจะเห็นโครงสร้างแบ่งเป็น 3 ชั้น เรียงจากด้านนอกเข้าไป คือ เอพิเดอร์มิส คอร์เทกซ์ และสตีล ซึ่งสตีลจะพบวาสคิวลาร์บันเดิลที่มีลักษณะแตกต่างกันในพืชใบเลี้ยงคู่และพืชใบเลี้ยงเดี่ยว

10. ลำต้นในระยะการเติบโตทุติยภูมิ จะมีเส้นรอบวงเพิ่มขึ้น และมีโครงสร้างแตกต่างจากเดิมเนื่องจากมีการสร้างเนื้อเยื่อเพริเดิร์ม และเนื้อเยื่อท่อลำเลียงทุติยภูมิเพิ่มขึ้น

11. ใบของพืชทั่วไปเป็นอวัยวะที่มีลักษณะแผ่เป็นแผ่นแบนสีเขียว ทำหน้าที่ในการดูดกลืนแสงเพื่อเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานเคมีโดยผ่านกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง เป็นช่องทางในการแลกเปลี่ยนแก๊สและคายน้ำ

12. ใบของพืชประกอบด้วย ก้านใบ แผ่นใบ เส้นกลางใบ และเส้นใบ พืชบางชนิดอาจมีหรือไม่มีก้านใบ ที่โคนก้านใบอาจพบหรือไม่พบหูใบ

13. โครงสร้างภายในของใบตัดตามขวาง ประกอบด้วยเนื้อเยื่อ 3 กลุ่ม ได้แก่ เอพิเดอร์มิส มีโซฟิลล์ และวาสคิวลาร์บันเดิล

แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 9

1. จงใส่เครื่องหมายถูก (√) หน้าข้อความที่ถูกต้อง ใส่เครื่องหมายผิด (×) หน้าข้อความที่ไม่ถูกต้อง และขีดเส้นใต้เฉพาะคำหรือส่วนของข้อความที่ไม่ถูกต้อง และแก้ไขโดยตัดออกหรือเติมคำหรือข้อความที่ถูกต้องลงในช่องว่าง

.......1.1 ระบบเนื้อเยื่อแบ่งออกได้เป็น 3 ระบบ ได้แก่ ระบบเนื้อเยื่อผิว ระบบเนื้อเยื่อพื้น และระบบเนื้อเยื่อท่อลำเลียง

....

.......1.2 เอพิเดอร์มิสเป็นเนื้อเยื่อผิวทำหน้าที่ป้องกันเนื้อเยื่อด้านในของพืช พบได้ทั่วไปที่ราก ลำต้น ใบ และที่อื่น ๆ

....

.......1.3 พืชลำเลียงน้ำและธาตุอาหารผ่านทางไซเล็มซึ่งมีเซลล์ที่ทำหน้าที่ลำเลียง 2 ชนิด คือ ซีฟทิวบ์เมมเบอร์ และเวสเซลเมมเบอร์

....

.......1.4 เอนโดเดอร์มิสในบริเวณคอร์เทกซ์ของรากมีสารลิกนินสะสมเป็นแถบเล็ก ๆ รอบเซลล์ ยกเว้นด้านที่ขนานกับเอพิเดอร์มิส เรียกแถบนี้ว่า พลาสโมเดสมาตา

....

.......1.5 บริเวณคอร์เทกซ์และพิธประกอบด้วย วาสคิวลาร์บันเดิล และเนื้อเยื่อพื้น

....

.......1.6 คอร์กแคมเบียมเป็นเนื้อเยื่อเจริญ เมื่อแบ่งเซลล์จะได้เซลล์คอร์กทางด้านนอกของลำต้น

....

.......1.7 กระพี้ไม้เป็นเนื้อไม้ส่วนนอกที่ยังทำหน้าที่ลำเลียงน้ำมีสีจางกว่าเนื้อไม้ส่วนใน เมื่อต้นไม้มีอายุมากขึ้นกระพี้ไม้จะเปลี่ยนมาเป็นเปลือกไม้

....

.......1.8 ในระยะการเติบโตทุติยภูมิของพืชดอกที่มีเนื้อไม้เนื้อเยื่อชั้นนอกสุดคือ เพริเดิร์ม

....

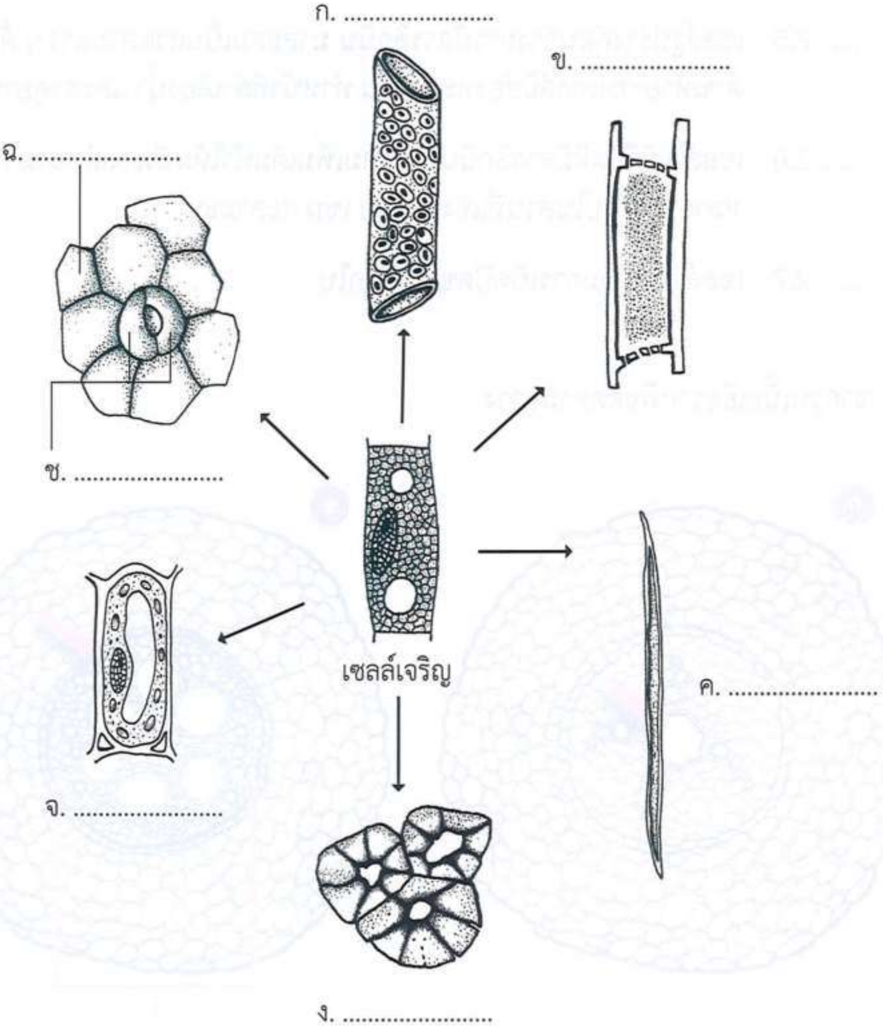
.......1.9 เซลล์แพลิเซด และเซลล์สปองจีเป็นเซลล์พาเรงคิมาที่ทำหน้าที่สังเคราะห์ด้วยแสงในใบ

....

.......1.10 วาสคิวลาร์บันเดิลในใบพืชพบที่เส้นกลางใบ เส้นใบ และเส้นใบย่อย โดยพบไซเล็มอยู่ด้านบน และโฟลเอ็มอยู่ด้านล่าง

....

2. จากแผนภาพแสดงเซลล์ที่เกิดจากการเปลี่ยนสภาพของเนื้อเยื่อเจริญ จงเติมชื่อเซลล์ลงในรูปและหน้าข้อความที่มีความสัมพันธ์กัน



.......2.1 เซลล์ที่มีชีวิตทำหน้าที่ลำเลียงอาหารผ่านรูทะลุระหว่างเซลล์ในทิศทางขึ้นลงและด้านข้าง

.......2.2 เซลล์ที่ไม่มีชีวิตรูปร่างยาว หัวท้ายของเซลล์เรียวแหลมมีสารลิกนินมาสะสมเพิ่มเติมที่ผนังเซลล์ทำให้ผนังเซลล์หนามาก ทำหน้าที่ช่วยเสริมความแข็งแรงให้กับไซเล็มและโฟลเอ็ม

.......2.3 เซลล์ที่อยู่ชั้นนอกสุดของส่วนต่าง ๆ ของพืชที่มีการเติบโตปฐมภูมิ

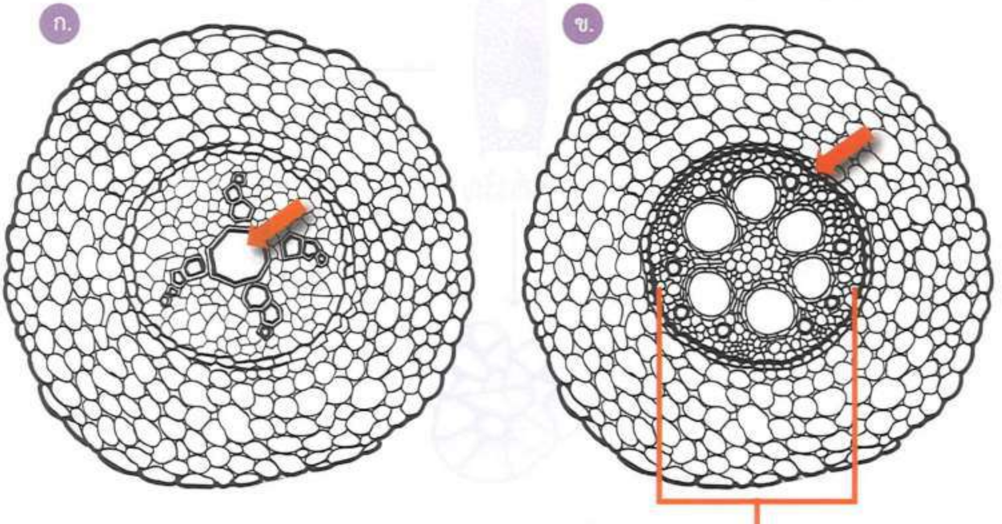
.......2.4 เซลล์ที่มีชีวิตทำหน้าที่ต่าง ๆ กันเช่น สังเคราะห์ด้วยแสง สะสมเม็ดแป้ง เป็นต้น

.......2.5 เซลล์รูปร่างค่อนข้างยาวมีสารลิกนิน มาสะสมเป็นลวดลายต่าง ๆ ด้านหัวและด้านท้ายของเซลล์มีช่องทะลุถึงกัน ทำหน้าที่ลำเลียงน้ำ และธาตุอาหาร

.......2.6 เซลล์ไม่มีชีวิตที่มีสารลิกนินมาสะสมเพิ่มเติมทำให้ผนังเซลล์หนามาก มีรูปร่างหลายแบบพบในส่วนที่แข็งของพืช เช่น กะลามะพร้าว

.......2.7 เซลล์ที่ควบคุมการเปิดปิดของรูปากใบ

3. จากรูปเนื้อเยื่อรากพืชตัดตามขวาง



3.1 จงเติมคำลงในช่องว่างให้ถูกต้อง

จากรูป ก. เซลล์ที่ชี้คือ............................ซึ่งอยู่ตรงกลางของเนื้อเยื่อชั้น.............

จากรูป ข. ส่วนที่ชี้คือเซลล์ของชั้นเนื้อเยื่อ ....

ซึ่งอยู่ด้านในสุดของเนื้อเยื่อชั้น...........................

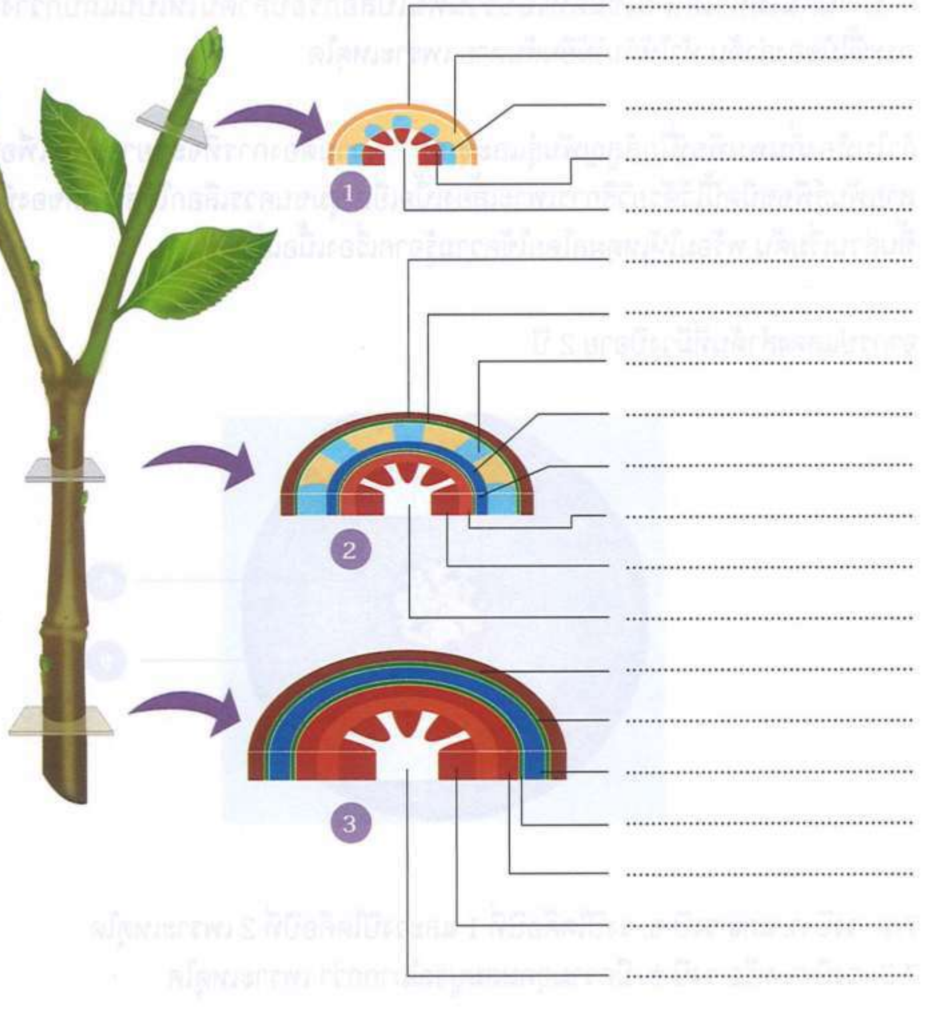
บริเวณตรงกลางของรูป (เครื่องหมายปีกกา) เป็นเนื้อเยื่อชั้น................

3.2 จงตอบคำถามต่อไปนี้

รูป ก. เป็นรากของพืชใบเลี้ยงคู่หรือใบเลี้ยงเดี่ยว เพราะเหตุใด

รูป ข. เป็นรากของพืชใบเลี้ยงคู่หรือใบเลี้ยงเดี่ยว เพราะเหตุใด

4. จากรูปการตัดลำต้นพืชใบเลี้ยงคู่ตามขวาง จงเติมชื่อเนื้อเยื่อลงในรูปวาดเนื้อเยื่อพืชตัดตามขวางที่มีความสัมพันธ์กัน

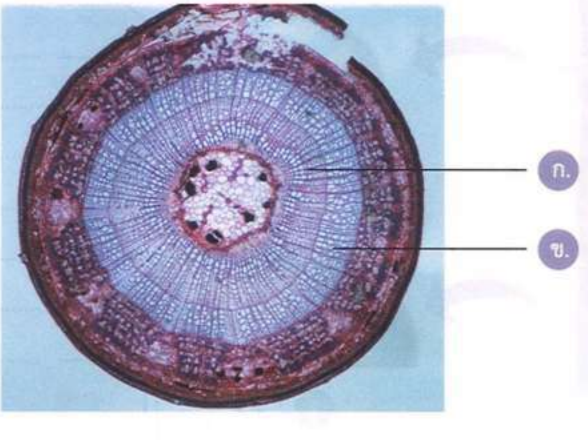


4.1 เนื้อเยื่อหมายเลข 1 2 3 มีการเติบโตปฐมภูมิหรือการเติบโตทุติยภูมิ เพราะเหตุใด
4.2 เนื้อเยื่อชั้นใดที่พบในเนื้อเยื่อหมายเลข 1 แต่ไม่พบในเนื้อเยื่อหมายเลข 2 และ 3 เพราะเหตุใดจึงเป็นเช่นนั้น
4.3 เนื้อเยื่อชั้นใดที่พบในเนื้อเยื่อหมายเลข 2 แต่ไม่พบในเนื้อเยื่อหมายเลข 3 เพราะเหตุใดจึงเป็นเช่นนั้น
4.4 จากรูปวาดเนื้อเยื่อหมายเลข 3 ลำต้นพืชส่วนนี้มีอายุกี่ปี ทราบได้อย่างไร

5. การกานต้นไม้ทำได้โดยใช้มีดหรือขวานฟันเปลือกรอบลำต้นให้เป็นแถบกว้างลึกถึงกระพี้ไม้ของลำต้น ทำให้ต้นไม้ยืนต้นตาย เพราะเหตุใด

6. ถ้าในท้องถิ่นพบพืชที่ใกล้สูญพันธุ์และชุมชนมีความต้องการที่จะขยายพันธุ์เพื่อรักษาสายพันธุ์พืชชนิดนี้ไว้ด้วยวิธีการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ ชุมชนควรเลือกใช้ส่วนใดของพืชเป็นชิ้นส่วนเริ่มต้น พร้อมให้เหตุผลโดยใช้ความรู้จากเรื่องเนื้อเยื่อพืช

7. จากรูปแสดงลำต้นที่มีวงปีอายุ 2 ปี



7.1 วงปี ก. และ วงปี ข. วงปีใดคือปีที่ 1 และวงปีใดคือปีที่ 2 เพราะเหตุใด
7.2 วงปี ก. หรือ วงปี ข. มีความอุดมสมบูรณ์มากกว่า เพราะเหตุใด

8. จงเปรียบเทียบชนิดของเซลล์หรือเนื้อเยื่อและการจัดเรียงตัวของโครงสร้างภายในตัดตามขวางของพืชต่อไปนี้

8.1 รากและลำต้นพืชใบเลี้ยงคู่ในระยะการเติบโตปฐมภูมิ

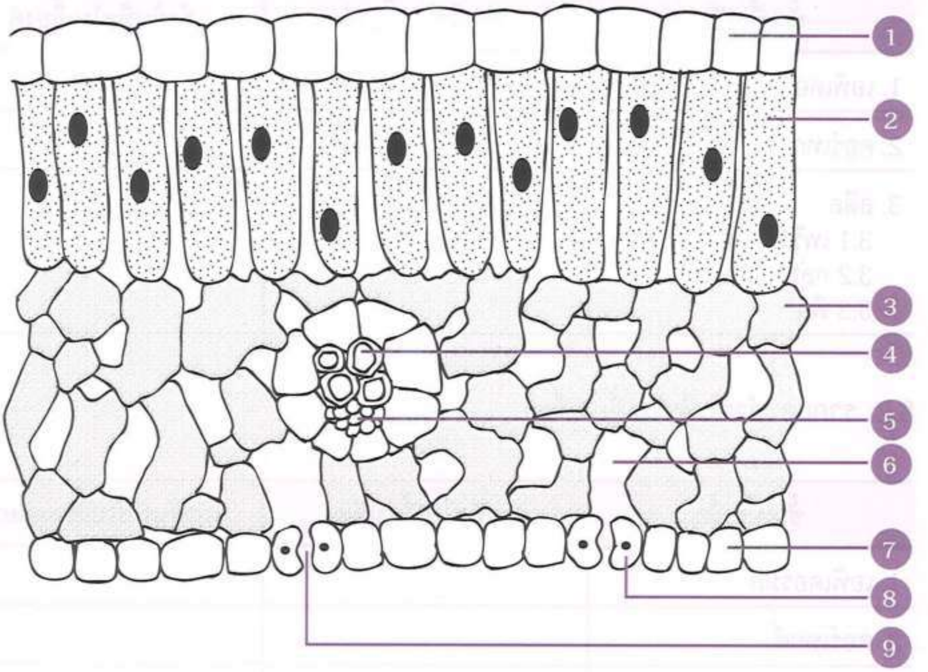
ชั้นเนื้อเยื่อ	รากพืชใบเลี้ยงคู่	ลำต้นพืชใบเลี้ยงคู่
1. เอพิเดอร์มิส		
2. คอร์เทกซ์		
3. สตีล 3.1 เพริไซเคิล 3.2 กลุ่มท่อลำเลียง 3.3 พิธ		

8.2 รากและลำต้นพืชใบเลี้ยงเดี่ยว

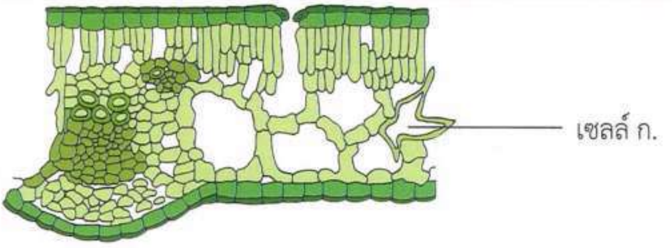
ชั้นเนื้อเยื่อ	รากพืชใบเลี้ยงเดี่ยว	ลำต้นพืชใบเลี้ยงเดี่ยว
1. เอพิเดอร์มิส		
2. คอร์เทกซ์		
3. สตีล 3.1 เพริไซเคิล 3.2 กลุ่มท่อลำเลียง 3.3 พิธ		

9. จากรูปเนื้อเยื่อพืชตัดตามขวาง

9.1 แสดงโครงสร้างภายในของใบพืชชนิดหนึ่ง ให้ระบุชื่อเนื้อเยื่อ เซลล์ หรือส่วนประกอบของใบพืชลงตามหมายเลข 1-9 พร้อมทั้งระบุหน้าที่



9.2 จากรูปวาดพืชชนิดหนึ่งพบปากใบอยู่ที่เอพิเดอร์มิสด้านบน และมีโครงสร้างในชั้นสปองจีมีโซฟิลล์เรียงตัวกันอย่างหลวม ๆ และพบเซลล์ ก. อยู่ที่ชั้นนี้



9.2.1 เซลล์ ก. คือ เซลล์ชนิดใด ทำหน้าที่อะไร

9.2.2 หากพิจารณาจากโครงสร้างของใบพืชนี้จะเป็นพืชที่เจริญเติบโตอยู่ในสภาพแวดล้อมแบบใด เพราะเหตุใด

บทที่ 10 | การลำเลียงของพืช

ipst.me/8863



ต้นกระบาก (*Anisoptera costata*) ต้นหนึ่งในอุทยานแห่งชาติตากสินมหาราช จังหวัดตาก ถูกตั้งชื่อว่าต้นกระบากใหญ่ เป็นต้นกระบากที่มีความสูงที่สุดในประเทศไทย โดยมีความสูงประมาณ 50 เมตร หรือเทียบเท่ากับอาคาร 15 ชั้น โดยปกติแล้วอาคารที่มีความสูงขนาดนี้จะต้องมีระบบการจัดการให้น้ำสามารถขึ้นไปสู่ชั้นที่อยู่ด้านบนได้ เช่น การใช้เครื่องสูบน้ำเพื่อนำน้ำขึ้นไปสำรองไว้ในถังเก็บน้ำที่อยู่ชั้นบนสุดของอาคาร แล้วปล่อยลงมาใช้ภายในอาคาร ต้นกระบากก็เช่นกัน จะต้องมีกลไกเพื่อนำน้ำไปยังส่วนต่าง ๆ ของต้น **พืชมีกลไกในการลำเลียงน้ำจากดินไปยังส่วนต่าง ๆ ของพืชได้อย่างไร**

คำถามสำคัญ

1. **พืชมีกลไกในการลำเลียงน้ำ ธาตุอาหาร และอาหาร ไปยังส่วนต่าง ๆ ของพืชได้อย่างไร**
2. **การแลกเปลี่ยนแก๊สและการคายน้ำมีความสำคัญต่อพืชอย่างไร**
3. **ธาตุอาหารมีความสำคัญต่อพืชอย่างไร**

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. สืบค้นข้อมูลและอธิบายกลไกการลำเลียงน้ำจากดินเข้าสู่ราก และการลำเลียงไปยังส่วนต่าง ๆ ของพืช
2. สืบค้นข้อมูล สังเกตการคายน้ำของพืช และอธิบายการแลกเปลี่ยนแก๊สและการคายน้ำของพืชผ่านทางปากใบ
3. อธิบายและยกตัวอย่างปัจจัยที่มีผลต่อการคายน้ำของพืช
4. สืบค้นข้อมูลและอธิบายกลไกการลำเลียงธาตุอาหารของพืช
5. สืบค้นข้อมูลและอธิบายความสำคัญของธาตุอาหารที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช
6. ยกตัวอย่างธาตุอาหารที่สำคัญที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช และยกตัวอย่างการนำมาใช้ประโยชน์ในการปลูกพืช
7. อธิบายกลไกการลำเลียงอาหารในพืช

ตรวจสอบความรู้ก่อนเรียน

ให้นักเรียนใส่เครื่องหมายถูก (√) หรือผิด (×) หน้าข้อความตามความเข้าใจของนักเรียน

1. พืชมีการลำเลียง O_2 และ CO_2 เข้าและออกจากเซลล์โดยการแพร่แบบธรรมดา
2. น้ำมีการเคลื่อนที่สุทธิผ่านเยื่อหุ้มเซลล์จากบริเวณที่มีความเข้มข้นของสารละลายสูงไปต่ำโดยออสโมซิส
3. พืชมีทิศทางการลำเลียงน้ำ ธาตุอาหาร และอาหารที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงจากรากไปสู่ยอดทิศทางเดียว
4. ไซเล็มมีเวสเซลเมมเบอร์และซีฟทิวบ์เมมเบอร์ ซึ่งทำหน้าที่หลักในการลำเลียงน้ำและธาตุอาหาร
5. โฟลเอ็มมีเทรคีด ซึ่งทำหน้าที่หลักในการลำเลียงอาหาร
6. ปากใบเป็นโครงสร้างที่มีหน้าที่ควบคุมการแลกเปลี่ยนแก๊สระหว่างพืชกับอากาศ พบได้ที่เนื้อเยื่อผิวของใบ
7. ใบพืชมีวาสคิวลาร์บันเดิล ประกอบด้วยไซเล็มและโฟลเอ็มซึ่งเชื่อมต่อกับวาสคิวลาร์บันเดิลในลำต้นและราก
8. พืชต้องการธาตุอาหารแต่ละชนิดในปริมาณที่แตกต่างกัน การขาดธาตุอาหารแต่ละชนิดจะส่งผลให้พืชแสดงอาการที่แตกต่างกัน
9. อาหารที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงคือน้ำตาล
10. ชั้นมีโซฟิลล์ของใบประกอบด้วยเซลล์ที่มีคลอโรพลาสต์จำนวนมาก จึงเป็นบริเวณที่เกิดการสังเคราะห์ด้วยแสงมาก

การที่พืชจะดำรงชีวิตและเจริญเติบโตได้ ต้องได้รับน้ำและธาตุอาหารจากสิ่งแวดล้อมและมีการลำเลียงผ่านไซเล็มไปยังส่วนต่าง ๆ ของพืช นอกจากนี้ยังมีการสร้างและลำเลียงอาหารผ่านโฟลเอ็มจากบริเวณแหล่งสร้างไปยังส่วนอื่น ๆ ด้วย **การลำเลียงน้ำ ธาตุอาหาร และอาหารในพืชเกิดขึ้นได้อย่างไร**

10.1 การลำเลียงน้ำ

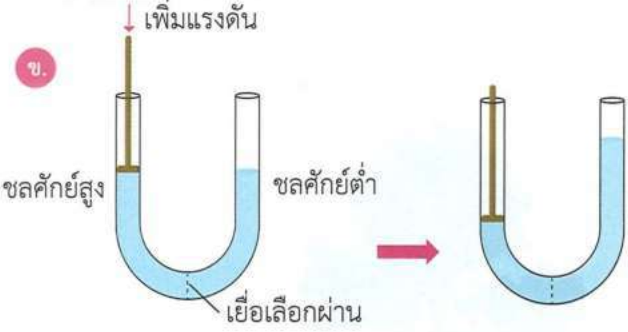
น้ำเป็นปัจจัยที่จำเป็นต่อการอยู่รอดของพืช ใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง และในกระบวนการอื่น ๆ ของเซลล์ การดูดน้ำจากดินเข้าสู่พืชและการลำเลียงน้ำไปยังส่วนต่าง ๆ จึงเป็นสิ่งสำคัญต่อการดำรงชีวิตของพืช การเคลื่อนที่ของน้ำในพืชเป็นผลมาจากความแตกต่างของ**ชลศักย์** (water potential)

ชลศักย์ คือ พลังงานอิสระของน้ำต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร นิยมใช้หน่วยเป็น MPa (megapascal) ซึ่งเป็นหน่วยของความดัน โดยชลศักย์ที่ภาวะหนึ่งจะเป็นผลรวมของพลังงานอิสระของน้ำที่ได้รับอิทธิพลจากปัจจัยต่าง ๆ ชลศักย์เกี่ยวข้องโดยตรงกับทิศทางการเคลื่อนที่ของน้ำ น้ำจะมีการเคลื่อนที่สุทธิจากบริเวณที่มีชลศักย์สูงไปยังบริเวณที่มีชลศักย์ต่ำ โดยน้ำบริสุทธิ์ที่อุณหภูมิ 20°C และที่ความดัน 1 บรรยากาศ มีค่าชลศักย์เป็น 0 MPa ชลศักย์เปลี่ยนแปลงได้จากปัจจัยต่าง ๆ ที่กระทำต่อโมเลกุลของน้ำ เช่น ตัวละลาย แรงดัน แรงดึง ดังนี้

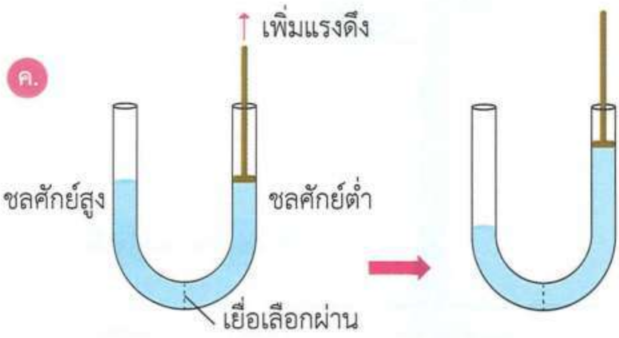
- ตัวละลายทำให้ความเป็นอิสระของน้ำลดลง ซึ่งมีผลต่อพลังงานในโมเลกุลของน้ำ ชลศักย์จึงลดลง ดังนั้นสารละลายที่มีความเข้มข้นต่ำจะมีชลศักย์สูงกว่าสารละลายที่มีความเข้มข้นสูง น้ำจึงมีการเคลื่อนที่สุทธิจากบริเวณที่สารละลายมีความเข้มข้นต่ำไปยังบริเวณที่สารละลายมีความเข้มข้นสูง ดังรูป 10.1 ก.
- แรงดันและแรงดึงที่มีต่อโมเลกุลของน้ำส่งผลให้พลังงานอิสระของน้ำเปลี่ยนแปลงไป เมื่อโมเลกุลของน้ำได้รับแรงดัน ความดันของน้ำในบริเวณนั้นจะสูงขึ้น พลังงานอิสระของน้ำจะสูงขึ้น ชลศักย์จึงมีค่าสูงขึ้น แต่หากโมเลกุลของน้ำได้รับแรงดึง ความดันของน้ำในบริเวณนั้นจะลดลง พลังงานอิสระของน้ำจะต่ำลง ชลศักย์จึงมีค่าลดลง น้ำจึงมีการเคลื่อนที่สุทธิจากบริเวณที่มีความดันสูงไปยังบริเวณที่มีความดันต่ำ ดังรูป 10.1 ข. และ ค.



การเพิ่มตัวละลาย ทำให้ชลศักย์ของน้ำลดลง ด้านที่มีตัวละลายน้อยจะมีชลศักย์สูงกว่าด้านที่มีตัวละลายมาก น้ำจึงเคลื่อนที่ไปยังหลอดด้านขวา



การเพิ่มแรงดัน ทำให้ชลศักย์ของน้ำสูงขึ้น ด้านที่ได้รับแรงดันจะมีชลศักย์สูงกว่าด้านที่ไม่ได้รับแรงดัน น้ำจึงเคลื่อนที่ไปยังหลอดด้านขวา



การเพิ่มแรงดึง ทำให้ชลศักย์ของน้ำลดลง ด้านที่ไม่ได้รับแรงดึงจะมีชลศักย์สูงกว่าด้านที่ได้รับแรงดึง น้ำจึงเคลื่อนที่ไปยังหลอดด้านขวา

รูป 10.1 การเคลื่อนที่สุทธิของน้ำซึ่งเป็นผลจากความแตกต่างของชลศักย์
ก. การเพิ่มตัวละลาย ข. การเพิ่มแรงดัน ค. การเพิ่มแรงดึง

ตรวจสอบความเข้าใจ

? ของเหลวใน 2 บริเวณ มีความเข้มข้นของตัวละลายและความดันเท่ากัน แต่อุณหภูมิแตกต่างกัน พบว่าของเหลวในบริเวณที่อุณหภูมิสูงเคลื่อนที่ไปบริเวณที่อุณหภูมิต่ำ จากข้อมูลข้างต้นให้อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ พลังงานอิสระของน้ำ ชลศักย์ และทิศทางการเคลื่อนที่ของน้ำ

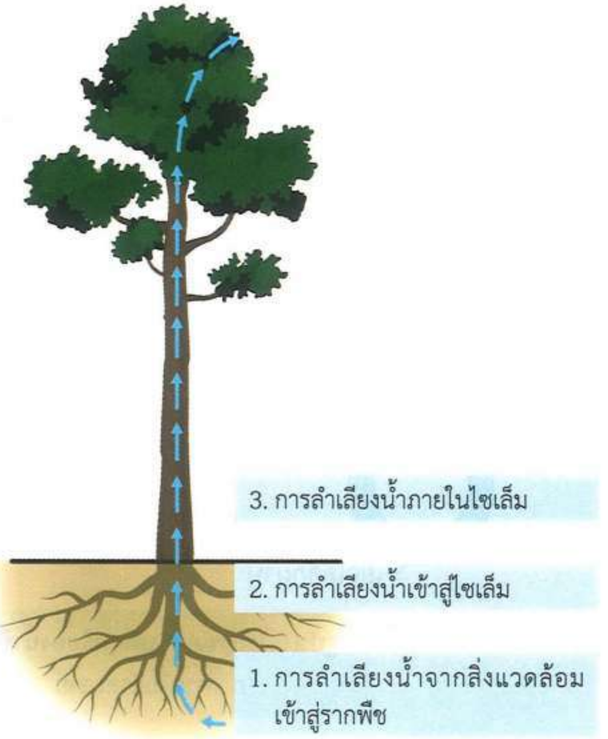
ความรู้เพิ่มเติม

ในการศึกษาเซลล์พืช มีการนำความรู้เกี่ยวกับชลศักย์มาใช้ เช่น การเลี้ยงโพรโทพลาสต์ซึ่งได้มาจากเซลล์พืชที่ถูกย่อยผนังเซลล์ออก เหลือเพียงเยื่อหุ้มเซลล์ล้อมรอบองค์ประกอบภายในเซลล์ การรักษาโพรโทพลาสต์ของพืชให้คงสภาพอยู่ได้นี้ ต้องทำให้ชลศักย์ของสารละลายภายในเซลล์กับภายนอกเซลล์เท่ากัน ดังนั้นจึงเลี้ยงโพรโทพลาสต์ในอาหารสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นเท่ากับสารละลายภายในเซลล์

การลำเลียงน้ำในพืชอาจแบ่งได้เป็น 3 ช่วง คือ การลำเลียงน้ำจากสิ่งแวดล้อมเข้าสู่รากพืช การลำเลียงน้ำเข้าสู่ไซเล็ม และการลำเลียงน้ำภายในไซเล็ม ดังรูป 10.2

10.1.1 การลำเลียงน้ำจากสิ่งแวดล้อมเข้าสู่รากพืช

โดยปกติสารละลายในดินมีความเข้มข้นต่ำกว่าในราก ทำให้ชลศักย์ในดินสูงกว่าในเซลล์ขนราก น้ำในดินจึงเคลื่อนที่เข้าสู่รากพืช โดยน้ำที่เข้ามาบางส่วนอาจผ่านเยื่อหุ้มเซลล์เข้าสู่ไซโทพลาซึมของเซลล์ขนรากโดยออสโมซิสและการแพร่แบบฟาซิลิเทต และน้ำบางส่วนอาจเคลื่อนที่ผ่านตามผนังเซลล์และช่องว่างระหว่างเซลล์



รูป 10.2 การลำเลียงน้ำในพืช

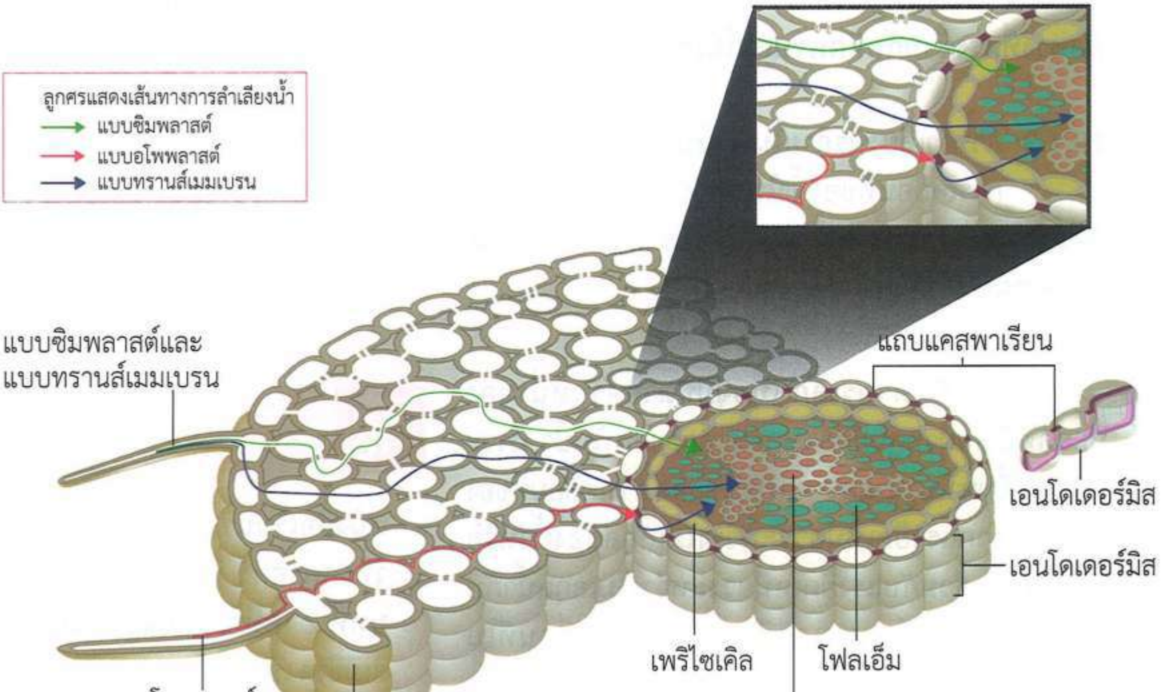
ความรู้เพิ่มเติม

บริเวณเยื่อหุ้มเซลล์มีโปรตีนลำเลียงที่มีชื่อว่า aquaporin การแพร่ของน้ำผ่านโปรตีนลำเลียงนี้เป็นการแพร่แบบฟาซิลิเทต สามารถเกิดขึ้นด้วยอัตราเร็วที่สูงกว่าออสโมซิส

10.1.2 การลำเลียงน้ำเข้าสู่ไซเล็ม

เมื่อน้ำเข้าสู่ราก น้ำจะเคลื่อนที่ผ่านคอร์เทกซ์เข้าสู่ไซเล็ม ซึ่งเป็นการเคลื่อนที่ในแนวระนาบ ดังรูป 10.3 การลำเลียงน้ำในรากมี 3 แบบ ดังนี้

1. **แบบซิมพลาสต์** (symplast pathway) เป็นการลำเลียงน้ำจากเซลล์หนึ่งสู่อีกเซลล์หนึ่ง ผ่านทางพลาสโมเดสมาตา (plasmodesmata) ซึ่งเป็นช่องที่มีสายไซโทพลาซึมเชื่อมต่อระหว่าง 2 เซลล์ซึ่งอยู่ติดกัน เมื่อถึงเอนโดเดอร์มิส น้ำจะยังคงลำเลียงเข้าเซลล์เอนโดเดอร์มิสผ่านทางพลาสโมเดสมาตาและเข้าสู่ไซเล็ม
2. **แบบอโพพลาสต์** (apoplast pathway) เป็นการลำเลียงน้ำโดยไม่ผ่านเข้าสู่เซลล์ แต่เคลื่อนที่ไปตามผนังเซลล์และช่องว่างระหว่างเซลล์ การลำเลียงแบบนี้จะเกิดขึ้นจนถึงเอนโดเดอร์มิสที่มีแถบแคสพาเรียน น้ำจะไม่สามารถเคลื่อนที่ผ่านผนังเซลล์และช่องว่างระหว่างเซลล์แบบอโพพลาสต์ได้อีก การลำเลียงน้ำจะเปลี่ยนเส้นทางเข้าสู่เซลล์เป็นแบบซิมพลาสต์หรือแบบทรานส์เมมเบรน แล้วผ่านเอนโดเดอร์มิสเข้าสู่ไซเล็ม
3. **แบบทรานส์เมมเบรน** (transmembrane pathway) เป็นการลำเลียงน้ำจากเซลล์หนึ่งสู่อีกเซลล์หนึ่งโดยผ่านเยื่อหุ้มเซลล์



รูป 10.3 เส้นทางการลำเลียงน้ำเข้าสู่ไซเล็มในรากพืชใบเลี้ยงคู่

ในการลำเลียงน้ำ น้ำแต่ละโมเลกุลอาจเปลี่ยนรูปแบบการลำเลียงได้ เช่น ในระหว่างการเคลื่อนที่เข้าสู่ไซเล็ม โมเลกุลน้ำอาจเปลี่ยนรูปแบบการลำเลียงจากแบบซิมพลาสต์เป็นแบบทรานส์เมมเบรน

ตรวจสอบความเข้าใจ

? โมเลกุลน้ำจากดินมีโอกาสที่จะเคลื่อนที่เข้าสู่ไซเล็มโดยไม่ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ได้หรือไม่ เพราะเหตุใด

การลำเลียงน้ำจากสิ่งแวดล้อมเข้าสู่รากและการลำเลียงน้ำเข้าสู่ไซเล็มเป็นไปตามความแตกต่างของชลศักย์ เนื่องจากน้ำภายในไซเล็มได้รับแรงดึงจากการคายน้ำซึ่งทำให้ชลศักย์ลดลง ชลศักย์ที่คอร์เทกซ์จึงสูงกว่าที่ไซเล็ม น้ำจากรากจึงเคลื่อนที่ผ่านคอร์เทกซ์เข้าสู่ไซเล็ม

เมื่อน้ำเข้าสู่ไซเล็มแล้วจะมีการลำเลียงขึ้นไปยังส่วนต่าง ๆ ของพืช **การเคลื่อนที่ของน้ำในทิศทางที่ตรงข้ามกับทิศทางแรงโน้มถ่วงของโลกนี้เกิดขึ้นได้อย่างไร**

10.1.3 การลำเลียงน้ำภายในไซเล็ม

การเคลื่อนที่ของน้ำในไซเล็มเป็นการเคลื่อนที่ในแนวดิ่ง โดยน้ำจะเคลื่อนที่จากรากขึ้นสู่ด้านบนโดยอาศัย**การซึมตามรูเล็ก** (capillary action) **แรงดึงจากการคายน้ำ** (transpiration pull) และ**ความดันราก** (root pressure)

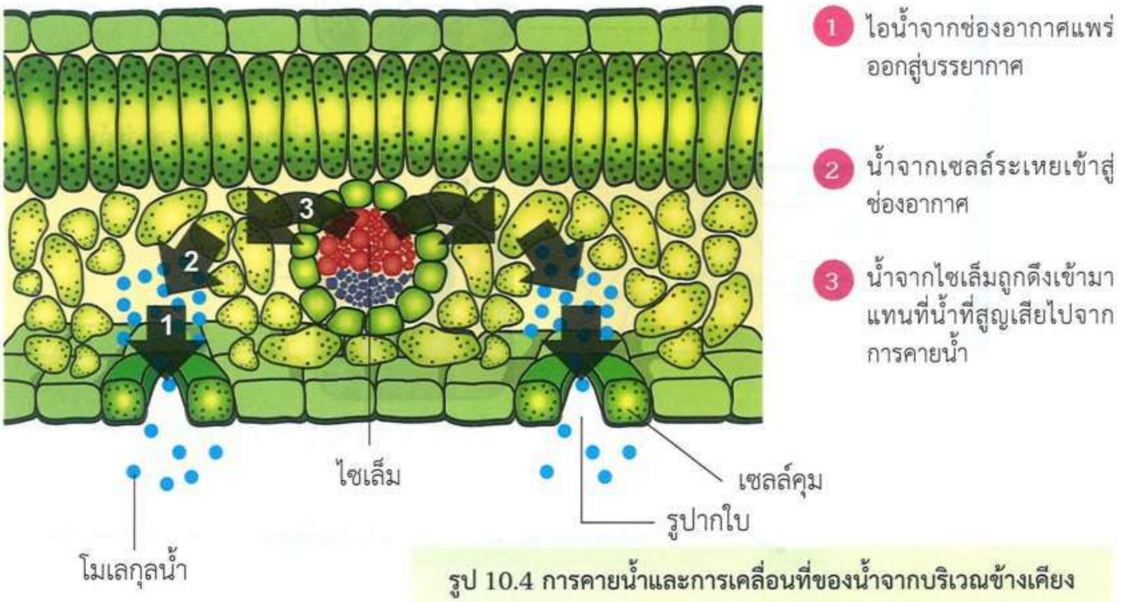
การซึมตามรูเล็ก เมื่อจุ่มปลายด้านหนึ่งของหลอดที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเล็กมากลงในน้ำ น้ำจะเคลื่อนที่ขึ้นมาในรูตามความสูงของหลอด การเคลื่อนที่ของน้ำนี้เกิดจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของน้ำหรือแรงโคฮีชัน ร่วมกับแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลน้ำกับผนังของหลอดหรือแรงแอดฮีชัน ทำให้น้ำเคลื่อนที่ในทิศทางตรงข้ามกับแรงโน้มถ่วงของโลก

การเชื่อมโยงความรู้

หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติม วิทยาศาสตร์ ชีววิทยา เล่ม 1 บทที่ 2 เคมีที่เป็นพื้นฐานของสิ่งมีชีวิต เรื่อง น้ำ

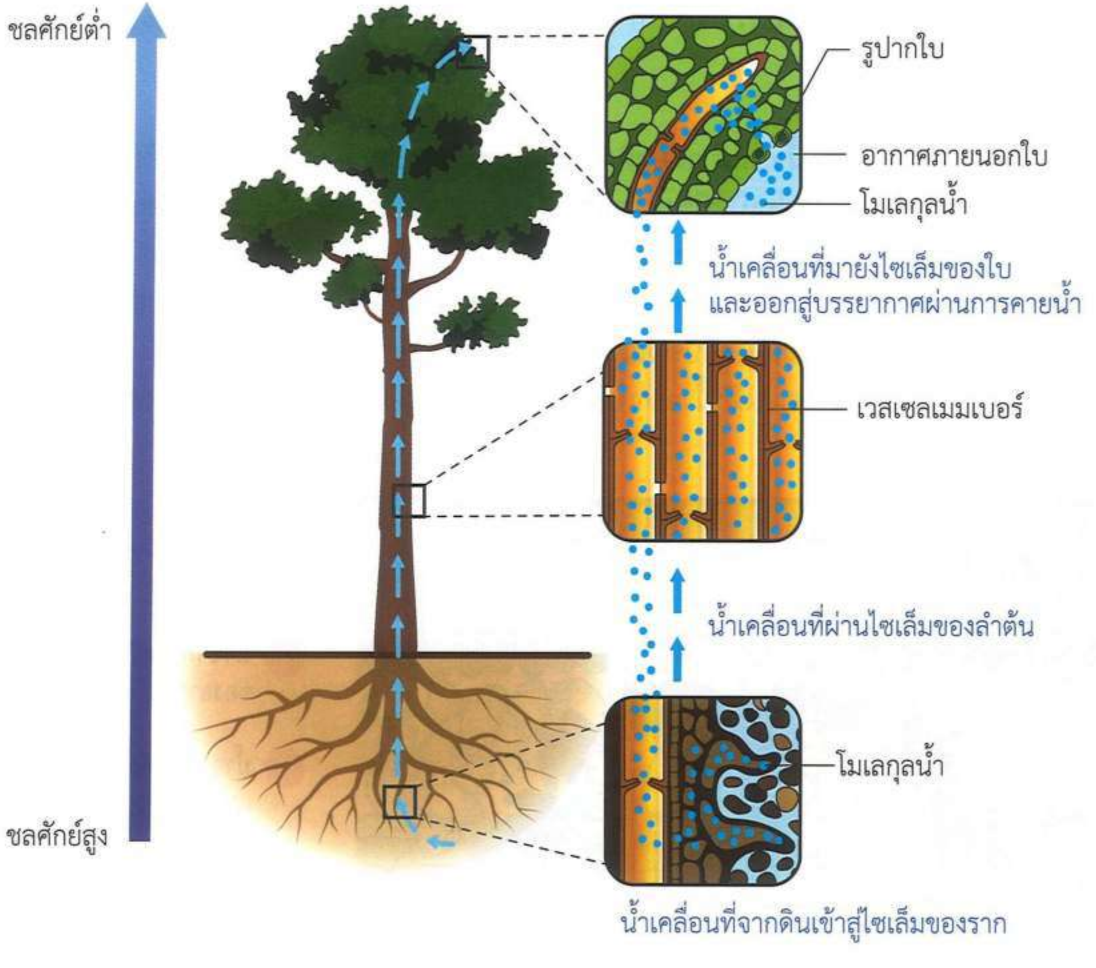
สำหรับพืชจะพบการเคลื่อนที่ของน้ำเช่นเดียวกันนี้ในไซเล็มซึ่งประกอบด้วยเซลล์ที่มีรูปร่างค่อนข้างยาวเรียงต่อกันจนมีลักษณะคล้ายท่อขนาดเล็ก แต่การซึมตามรูเล็กนี้ไม่มีแรงมากพอที่จะทำให้น้ำเคลื่อนที่ขึ้นไปตามลำต้นที่มีความสูงมาก ๆ ได้ การลำเลียงน้ำจากรากขึ้นด้านบนจึงต้องอาศัยกลไกอื่นร่วมด้วย

แรงดึงจากการคายน้ำ ในภาวะปกติการลำเลียงน้ำจากรากขึ้นสู่ด้านบนจะอาศัยแรงดึงจากการคายน้ำเป็นหลัก เมื่อปากใบเปิดพืชจะสูญเสียน้ำในรูปของไอน้ำผ่านทางปากใบ เรียกการสูญเสียน้ำในรูปของไอน้ำในพืชนี้ว่า **การคายน้ำ** (transpiration) เมื่อเกิดการคายน้ำ ไอน้ำจากช่องอากาศจะแพร่ออกสู่บรรยากาศทางรูปากใบ น้ำจากสปองจีมีโซฟิลล์จะระเหยออกสู่ช่องอากาศภายในใบทำให้น้ำในสปองจีมีโซฟิลล์บริเวณปากใบลดลง น้ำจากเซลล์บริเวณข้างเคียงจึงถูกดึงเข้ามาแทนด้วยแรงโคฮีชัน และเกิดแรงดึงน้ำจากเซลล์อื่น ๆ รอบข้างต่อเนื่องไปจนถึงไซเล็ม ดังรูป 10.4



รูป 10.4 การคายน้ำและการเคลื่อนที่ของน้ำจากบริเวณข้างเคียง

เนื่องจากไซเล็มมีลักษณะเป็นท่อเชื่อมต่อกันจากใบไปถึงราก แรงดึงระหว่างโมเลกุลของน้ำจึงต่อกันเป็นสายในไซเล็มจนไปถึงราก เกิดเป็นแรงดึงจากการคายน้ำ ดึงให้น้ำเคลื่อนที่จากรากขึ้นไปสู่ด้านบน ซึ่งการเคลื่อนที่ของน้ำในไซเล็มนี้เป็นไปตามความแตกต่างของชลศักย์ โดยแรงดึงจากการคายน้ำทำให้ชลศักย์ที่ใบลดลง ชลศักย์ที่รากจึงสูงกว่าที่ใบ น้ำจึงเคลื่อนที่จากรากสู่ยอด ดังรูป 10.5



รูป 10.5 **การเคลื่อนที่ของน้ำแบบต่อเนื่องในไซเล็มซึ่งเป็นผลจากการคายน้ำ**

ความดันราก ในบางครั้งการเคลื่อนที่ของน้ำจากรากขึ้นสู่ด้านบนอาจอาศัยความดันราก เช่น ในเวลากลางคืนที่ปากใบปิด ทำให้ไม่มีการคายน้ำผ่านทางปากใบ หรือในภาวะที่อากาศภายนอกมีความชื้นสัมพัทธ์สูงมากจนไม่สามารถเกิดการคายน้ำได้ตามปกติ หากน้ำในดินมีมากเพียงพอ น้ำในดินจะยังคงเคลื่อนที่เข้าสู่รากพืช ทำให้น้ำในรากมีความดันเพิ่มขึ้น เกิดเป็นความดันราก ดันให้น้ำเคลื่อนที่ไปตามไซเล็มขึ้นสู่ด้านบน ซึ่งเป็นไปตามความแตกต่างของชลศักย์ โดยความดันรากทำให้ชลศักย์ที่รากสูงขึ้น น้ำจึงเคลื่อนที่จากรากขึ้นสู่ด้านบน

ความดันรากอาจทำให้น้ำเคลื่อนที่ไปตามไซเล็มจนออกมาทางโครงสร้างพิเศษที่เรียกว่า **รูหยาดน้ำ** (hydathode) ซึ่งอยู่ปลายสุดของไซเล็มบริเวณขอบใบหรือปลายใบ โดยน้ำจะเคลื่อนที่ออกมาในรูปของหยดน้ำ ดังรูป 10.6 ซึ่งปรากฏการณ์ที่พืชสูญเสียน้ำในรูปของหยดน้ำผ่านทางรูหยาดน้ำ เรียกว่า **กัตเตชัน** (guttation)



รูป 10.6 กัตเตชัน

? การคายน้ำและกัตเตชันเหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร

10.2 การแลกเปลี่ยนแก๊สและการคายน้ำ

ในการดำรงชีวิตของพืช พืชต้องการแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงและได้แก๊สออกซิเจน (O_2) จากกระบวนการดังกล่าว โดยพืชจะแลกเปลี่ยน CO_2 และ O_2 กับบรรยากาศผ่านทางรูปากใบ การเปิดปากใบจะทำให้พืชมีการแลกเปลี่ยนแก๊ส ในขณะเดียวกันจะทำให้เกิดการคายน้ำ เนื่องจากน้ำในต้นพืชมีค่าชลศักย์สูงกว่าชลศักย์ของน้ำในอากาศ น้ำจึงแพร่ออกสู่ภายนอกผ่านทางรูปากใบ เมื่อปากใบปิดการแลกเปลี่ยนแก๊สและการคายน้ำผ่านทางรูปากใบจะหยุดลง

รู้หรือไม่

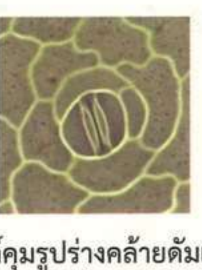
เซลล์คุมในพืชต่างชนิดกันอาจมีรูปร่างแตกต่างกัน โดยเซลล์คุมรูปร่างคล้ายไตจะพบในพืชใบเลี้ยงคู่ เช่น ถั่ว และพืชใบเลี้ยงเดี่ยวบางชนิด เช่น ลิลลี ในขณะที่เซลล์คุมรูปร่างคล้ายดัมเบลจะพบในพืชใบเลี้ยงเดี่ยวเท่านั้น เช่น อะเมซอน ข้าวโพด



เซลล์คุมรูปร่างคล้ายไต **เซลล์คุมรูปร่างคล้ายดัมเบล**



เซลล์คุมรูปร่างคล้ายไตจากผิวใบต้นลิลลี



เซลล์คุมรูปร่างคล้ายดัมเบลจากผิวใบต้นอะเมซอน

กิจกรรม 10.1 ปากใบของพืชกับการคายน้ำ

จุดประสงค์

1. อธิบายลักษณะของเซลล์คุม รูปากใบ และเซลล์เอพิเดอร์มิสที่ศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์
2. สังเกตและเปรียบเทียบจำนวนปากใบที่เอพิเดอร์มิสด้านบนและเอพิเดอร์มิสด้านล่างของใบพืช และอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนปากใบกับการคายน้ำของพืช

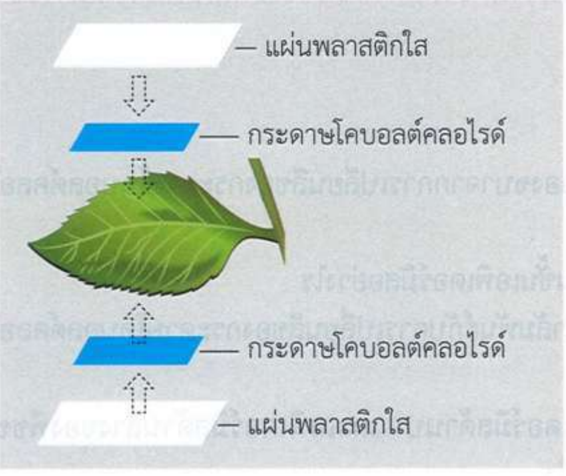
วัสดุและอุปกรณ์

1. ต้นชบาหรือกิ่งชบา
2. ใบของพืชกลุ่มต่าง ๆ ได้แก่
    - พืชบก เช่น ถั่ว กุหลาบ ข้าวโพด ว่านกาบหอย หัวใจม่วง ชะพลู พลับพลึงตีนเป็ด สับปะรดสี ลีลาวดี
    - พืชที่ใบปริ่มน้ำ เช่น บัวสาย
    - พืชที่ใบอยู่ใต้น้ำ เช่น สาหร่ายหางกระรอก
3. ใบมีดโกน
4. พู่กัน เข็มเขี่ย ปากคีบ
5. จานเพาะเชื้อ หลอดหยด
6. น้ำ
7. ทิชชู
8. น้ำยาทาเล็บชนิดใสไม่มีสี
9. แผ่นพลาสติกใสและเทปใส
10. กระดาษโคบอลต์คลอไรด์
11. สไลด์และกระจกปิดสไลด์
12. กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงเชิงประกอบ

วิธีการทำกิจกรรม

ตอนที่ 1

1. นำกระดาษโคบอลต์คลอไรด์มาทาบที่ผิวใบด้านบนและด้านล่างของต้นชบาที่นำมาศึกษา ปิดทับด้วยแผ่นพลาสติกใส และใช้เทปใสปิดตามขอบเพื่อยึดกับใบและป้องกันไอน้ำจากอากาศ ดังรูป





2. สังเกตการเปลี่ยนแปลงของสีกระดาษโคบอลต์คลอไรด์ซึ่งจะเปลี่ยนจากสีฟ้าเป็นสีชมพูเมื่อได้รับความชื้น โดยสังเกตทุก 5 นาที เป็นเวลา 20 นาที

ตอนที่ 2

1. นำใบของต้นชบาในตอนที่ 1 และใบของพืชกลุ่มต่าง ๆ กลุ่มละ 1-2 ตัวอย่าง มาลอกผิวใบโดยฉีกตามแนวทแยงให้เห็นเอพิเดอร์มิสด้านล่างเป็นแผ่นบางใส ดังรูป



2. ตัดเนื้อเยื่อส่วนบางใส วางบนหยดน้ำบนสไลด์ โดยพยายามทำให้เนื้อเยื่อแผ่เป็นแผ่น อย่าให้ทับซ้อนกัน และปิดด้วยกระจกปิดสไลด์

3. นำสไลด์ไปศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์ สังเกตจำนวนปากใบทั้งหมดที่เห็นในกล้องจุลทรรศน์ และบันทึกผลโดยการถ่ายรูปหรือวาดรูป
4. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1-3 โดยเปลี่ยนเป็นเอพิเดอร์มิสด้านบน
5. เปรียบเทียบจำนวนปากใบบริเวณเอพิเดอร์มิสด้านบนกับเอพิเดอร์มิสด้านล่างของพืชชนิดเดียวกัน
6. เปรียบเทียบจำนวนปากใบบริเวณเอพิเดอร์มิสด้านบนกับเอพิเดอร์มิสด้านล่างของพืชต่างชนิดกัน

คำถามท้ายกิจกรรม

? นักเรียนสรุปเกี่ยวกับการคายน้ำของชบาจากการเปลี่ยนสีของกระดาษโคบอลต์คลอไรด์ได้ว่าอย่างไร

? เซลล์คุมแตกต่างจากเซลล์อื่น ๆ ในชั้นเอพิเดอร์มิสอย่างไร

? ความหนาแน่นของปากใบของชบาสัมพันธ์กับการเปลี่ยนสีของกระดาษโคบอลต์คลอไรด์อย่างไร

? ความหนาแน่นของปากใบที่เอพิเดอร์มิสด้านบนและเอพิเดอร์มิสด้านล่างของพืชชนิดเดียวกัน แตกต่างกันหรือไม่ อย่างไร

ข้อเสนอแนะ

ใบไม้บางชนิดอาจลอกผิวใบโดยการฉีกใบได้ยาก ดังนั้นอาจใช้น้ำยาทาเล็บชนิดใสไม่มีสีป้ายด้านล่างหรือด้านบนของใบพืชเป็นแถบประมาณ 2 เซนติเมตร ทิ้งไว้ประมาณ 3 นาที ใช้ปลายปากคีบลอกแถบน้ำยาทาเล็บที่ป้ายไว้แล้วนำไปวางบนหยดน้ำบนสไลด์ ปิดด้วยกระจกปิดสไลด์ หรือใช้เทปใสปิดทับใบบริเวณที่ป้ายน้ำยาทาเล็บและลอกออกมาวางแปะบนสไลด์ ศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์



ตรวจสอบความเข้าใจ

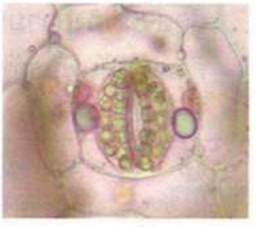
? มีผู้ทำการศึกษาความหนาแน่นของปากใบพืช 3 ชนิด ได้แก่ ลีลาวดีซึ่งเป็นพืชบก บัวสายซึ่งเป็นพืชน้ำที่มีใบปริ่มน้ำ และสับปะรดสีซึ่งเป็นพืชทนแล้ง ได้ผลดังตาราง สัดส่วนของความหนาแน่นของปากใบบริเวณเอพิเดอร์มิสด้านบนและเอพิเดอร์มิสด้านล่างสัมพันธ์กับการคายน้ำและลักษณะการดำรงชีวิตของพืชหรือไม่ อย่างไร

ชนิดพืช	ตำแหน่งเอพิเดอร์มิส	ตำแหน่งของบริเวณที่ศึกษา	จำนวนปากใบในขอบเขตที่ศึกษา	ค่าเฉลี่ยจำนวนปากใบในขอบเขตที่ศึกษา
ลีลาวดี	ด้านบน	1	0	0
		2	0	
		3	0	
	ด้านล่าง	1	33	35
		2	37	
		3	34	
บัวสาย	ด้านบน	1	38	37
		2	30	
		3	42	
	ด้านล่าง	1	0	0
		2	0	
		3	0	
สับปะรดสี	ด้านบน	1	0	0
		2	0	
		3	0	
	ด้านล่าง	1	5	6
		2	6	
		3	6	

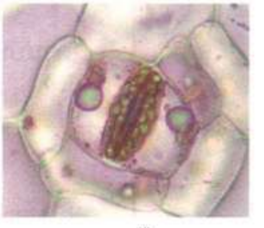
พืชโดยทั่วไปพบปากใบที่เอพิเดอร์มิสบริเวณผิวใบด้านล่างมากกว่าด้านบน แต่พืชบางชนิดมีจำนวนปากใบบริเวณผิวใบด้านบนใกล้เคียงกับผิวใบด้านล่าง ในขณะที่พืชที่ใบลอยปริ่มน้ำจะพบปากใบเฉพาะที่ผิวใบด้านบนเท่านั้น ส่วนพืชที่จมอยู่ใต้น้ำจะไม่มีปากใบ

10.2.1 กลไกการเปิดปิดปากใบ

เมื่อนำพืชชนิดหนึ่งมาตรวจสอบการเปิดปิดของปากใบ โดยตรวจสอบในเวลากลางวันและเวลากลางคืน ได้ผลดังรูป 10.7 **การเปิดและปิดของปากใบเกิดขึ้นได้อย่างไร**



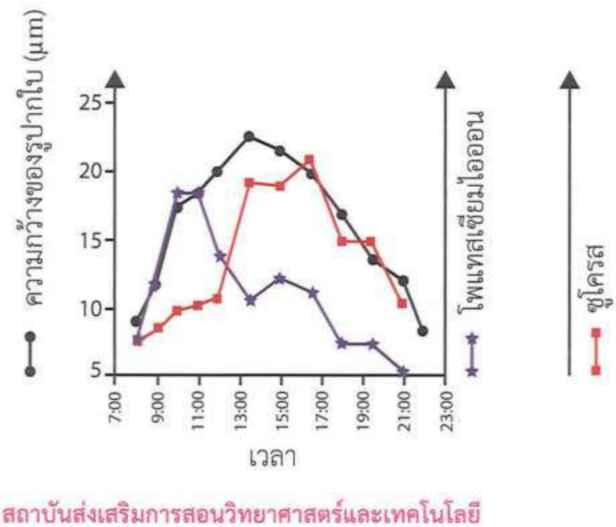
กลางวัน



กลางคืน

รูป 10.7 ปากใบของพืชในเวลากลางวันและเวลากลางคืน

โดยทั่วไปปากใบจะเปิดในเวลากลางวันและปิดในเวลากลางคืน การเปิดปิดของปากใบขึ้นอยู่กับความเต่งของเซลล์คุม เนื่องจากเซลล์คุมเป็นเซลล์ที่มีผนังเซลล์หนาไม่เท่ากัน โดยผนังเซลล์ด้านที่อยู่ชิดรูปากใบจะหนากว่าด้านอื่น เมื่อเซลล์คุมเต่ง เซลล์คุมจะโค้งมากขึ้นทำให้ปากใบเปิด และเมื่อเซลล์คุมสูญเสียความเต่ง เซลล์คุมจะโค้งน้อยลงทำให้รูปากใบแคบลง จนเมื่อเซลล์คุมทั้งสองเซลล์แนบกันสนิทจะทำให้ปากใบปิด การเต่งของเซลล์คุมเกี่ยวข้องกับความเข้มข้นของสารละลายภายในเซลล์ โดยเมื่อศึกษาการสะสมโพแทสเซียมไอออนและซูโครสในเซลล์คุม พบว่ามีความสัมพันธ์กับการเปิดปิดของปากใบและความกว้างของรูปากใบ ดังรูป 10.8

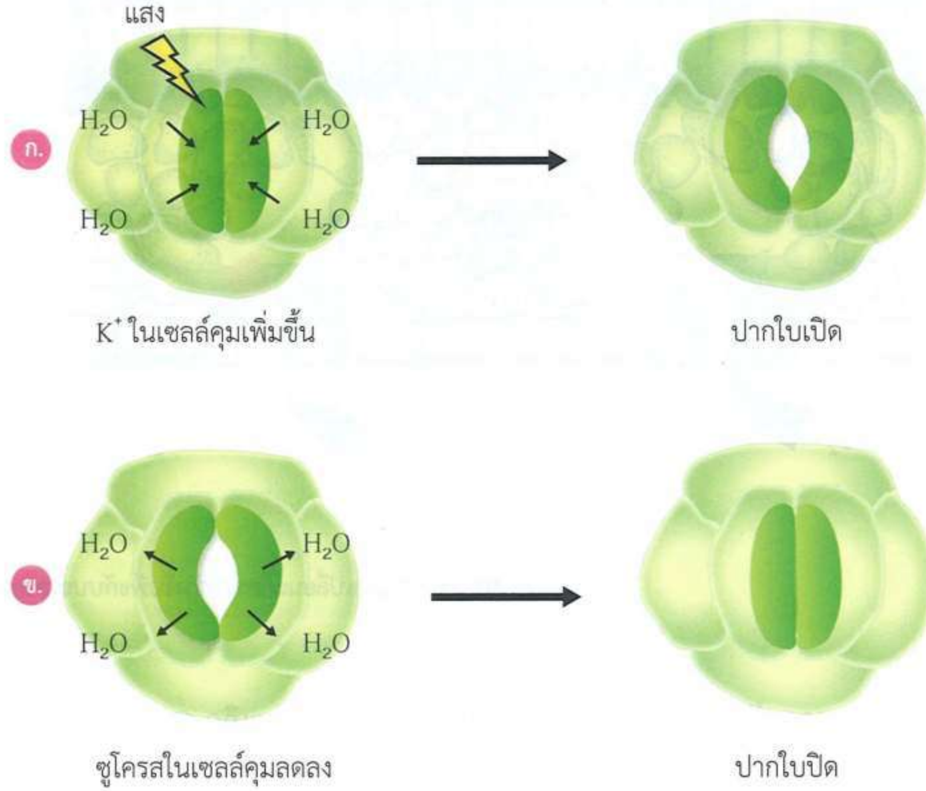


ที่มา : ปรับจาก Taiz, L., et al. (2015). **Plant Physiology and Development** (6th ed). Sunderland: Sinauer Associates.

รูป 10.8 กราฟแสดงความกว้างของรูปากใบ และการสะสมโพแทสเซียมไอออนและซูโครสในเซลล์คุมในเวลาต่าง ๆ

จากรูป 10.8 พบว่าในเวลาเช้าเมื่อมีแสง โพแทสเซียมไอออนจะสะสมในเซลล์คุมเพิ่มขึ้น เนื่องจากมีการเคลื่อนที่จากเซลล์ที่อยู่ข้างเคียงเข้าสู่เซลล์คุม ทำให้ความเข้มข้นของสารละลายในเซลล์คุมสูงขึ้น น้ำจากเซลล์ที่อยู่ข้างเคียงจึงเคลื่อนที่เข้าสู่เซลล์คุมทำให้เซลล์คุมเต่งมากขึ้นและทำให้ปากใบเปิด ดังรูป 10.9 ก. ในเวลาต่อมาโพแทสเซียมไอออนจะเคลื่อนที่ออกจากเซลล์คุม แต่จะมีการสะสมของซูโครสที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงซึ่งทำให้เซลล์คุมยังคงรักษาความเต่งไว้

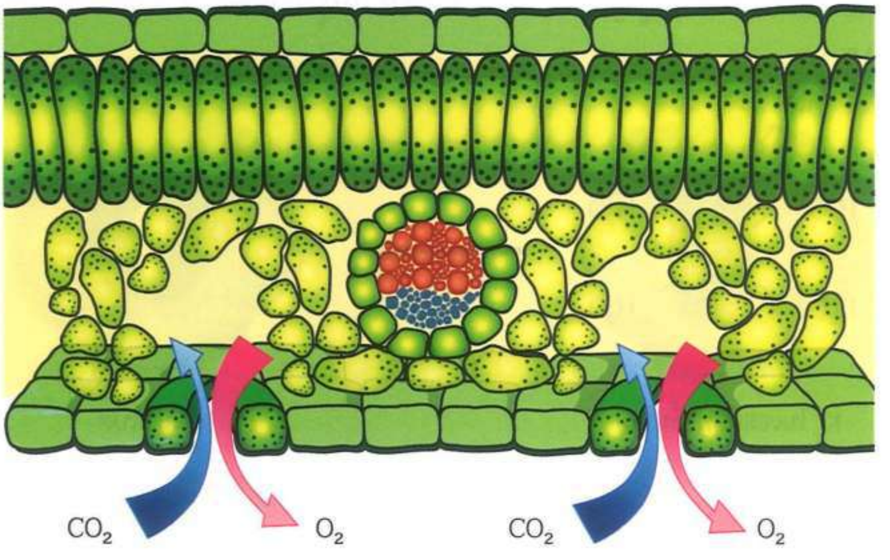
เมื่อถึงเวลาเย็นปริมาณซูโครสในเซลล์คุมจะลดลง น้ำในเซลล์คุมจึงเคลื่อนที่ออกไปยังเซลล์ที่อยู่ข้างเคียงทำให้เซลล์คุมสูญเสียความเต่งและทำให้รูปากใบแคบลงจนกระทั่งปากใบปิด ดังรูป 10.9 ข.



รูป 10.9 การเปิดปิดของปากใบในเวลาเช้าและเวลาเย็น
ก. การเต่งของเซลล์คุมที่ทำให้ปากใบเปิด
ข. การสูญเสียความเต่งของเซลล์คุมที่ทำให้ปากใบปิด

10.2.2 การแลกเปลี่ยนแก๊ส

พืชทั่วไปเปิดปากใบในเวลากลางวัน ซึ่งทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนแก๊สระหว่างเซลล์พืชกับบรรยากาศภายนอกเนื่องจากความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นของแก๊สในใบพืชกับบรรยากาศ โดยแก๊สจะแพร่จากบริเวณที่มีความเข้มข้นสูงไปยังบริเวณที่มีความเข้มข้นต่ำ การแลกเปลี่ยนแก๊สที่สำคัญคือการแลกเปลี่ยน CO_2 และ O_2 ดังรูป 10.10



รูป 10.10 การแลกเปลี่ยนแก๊สระหว่างใบพืชกับบรรยากาศ

ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง เซลล์พืชจะใช้ CO_2 และเกิด O_2 ขึ้น ขณะเดียวกันในกระบวนการหายใจระดับเซลล์พืชจะใช้ O_2 และเกิด CO_2 ขึ้น ดังนั้นความเข้มข้นของ O_2 และ CO_2 ในใบพืชจึงขึ้นอยู่กับอัตราการเกิดกระบวนการเหล่านี้

การเปิดของปากใบเป็นช่องทางสำคัญของการแลกเปลี่ยนแก๊ส ทำให้พืชได้ CO_2 มาใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง โดยการเปิดปิดของปากใบเป็นกลไกสำคัญสำหรับการแลกเปลี่ยนแก๊ส ไม่ใช่เพื่อการคายน้ำ แต่การคายน้ำและการลำเลียงน้ำในไซเล็มที่เกิดขึ้นเนื่องจากแรงดึงจากการคายน้ำนั้นเป็นผลต่อเนื่องที่เกิดขึ้นตามมา

การแลกเปลี่ยนแก๊สอาจเกิดในบริเวณอื่น เช่น รากพืชมีการแลกเปลี่ยนแก๊สโดยตรงกับอากาศที่อยู่ในช่องว่างระหว่างอนุภาคของดินโดยอาจเกิดผ่านเซลล์รากที่ยังไม่มีชั้นคิวทิเคิล นอกจากนี้การแลกเปลี่ยนแก๊สของพืชยังเกิดขึ้นโดยผ่านทางช่องเปิดอื่น ๆ เช่น แผลที่เปลือกของลำต้นหรือราก และ **เลนทิเซล** (lenticel) ดังรูป 10.11 ซึ่งเป็นรอยปริแยกที่ผิวเปลือกไม้ พบในพืชที่มีการเติบโตแบบทุติยภูมิ



ลีลาวดี กระถิน โพทะเล

รูป 10.11 เลนทิเซลที่ลำต้นของพืช

ตรวจสอบความเข้าใจ

? จากการทำกิจกรรม 10.1 ในระหว่างที่กระดาษโคบอลต์คลอไรด์เปลี่ยนจากสีฟ้าเป็นสีชมพู การแลกเปลี่ยนแก๊สระหว่างใบพืชกับบรรยากาศเกิดขึ้นหรือไม่ อย่างไร

10.2.3 การคายน้ำ

พืชแลกเปลี่ยนแก๊สและคายน้ำผ่านทางปากใบเป็นส่วนใหญ่ เมื่อความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศต่ำกว่าภายในใบพืช ไอน้ำภายในใบพืชจะแพร่ออกทางรูปากใบซึ่งคือการคายน้ำ นำไปสู่การเกิดแรงดึงจากการคายน้ำที่ช่วยในการลำเลียงน้ำในพืชดังที่ได้ศึกษาข้างต้น นอกจากนี้การคายน้ำยังมีส่วนช่วยในการรักษาอุณหภูมิของใบพืชไม่ให้สูงเกินไปอีกด้วย

การคายน้ำได้รับอิทธิพลจากปัจจัยต่าง ๆ เช่น ความชื้นสัมพัทธ์ ลม อุณหภูมิ ปริมาณน้ำในดิน และความเข้มแสง เป็นต้น

ความชื้นสัมพัทธ์

ถ้าความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศลดลงเนื่องจากปริมาณไอน้ำในอากาศลดลง ทำให้ปริมาณไอน้ำในช่องอากาศของใบและในอากาศแตกต่างกันมากขึ้น ไอน้ำจึงแพร่ออกจากใบผ่านทางรูปากใบเร็วขึ้น การคายน้ำของพืชจะเพิ่มมากขึ้น

ลม

ลมที่พัดผ่านใบจะทำให้ความกดอากาศที่บริเวณผิวใบลดลง น้ำบริเวณปากใบจะระเหยออกสู่อากาศได้มากขึ้น และขณะที่ลมเคลื่อนผ่านผิวใบจะนำความชื้นไปด้วย น้ำจากปากใบจะระเหยได้มากขึ้นเช่นกัน การคายน้ำของพืชจะเพิ่มมากขึ้น

อุณหภูมิ

ขณะที่รูปากใบเปิด หากอุณหภูมิของอากาศสูงขึ้น จะทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศลดลง ไอน้ำจึงแพร่ออกจากใบผ่านทางรูปากใบเร็วขึ้น การคายน้ำของพืชจะเพิ่มมากขึ้น แต่ถ้าอุณหภูมิสูงมากเกินไปปากใบจะปิด เพื่อป้องกันการสูญเสียน้ำ

ปริมาณน้ำในดิน

การเปิดปิดของปากใบมีความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำในดินมากกว่าปริมาณน้ำในใบพืช เมื่อพืชไม่สามารถดูดน้ำได้ตามปกติและเริ่มขาดน้ำ พืชจะสร้างกรดแอบไซซิก (abscisic acid; ABA) ซึ่งมีผลทำให้ปากใบปิด การคายน้ำของพืชจะลดลง

ชวนคิด

พืชทั่วไปเมื่ออยู่ในบริเวณที่มี CO_2 สูงกว่าปกติ จะทำให้พืชเปิดรูปากใบแคบลง การที่ปัจจุบันบรรยากาศของโลกมี CO_2 ซึ่งเป็นแก๊สเรือนกระจกเพิ่มมากขึ้น การคายน้ำของพืชจะได้รับผลกระทบอย่างไร

ความเข้มแสง

ในกรณีที่พืชได้รับน้ำอย่างเพียงพอ ความกว้างของรูปากใบมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความเข้มแสง โดยหากความเข้มแสงสูงปากใบจะเปิดกว้างกว่าที่ความเข้มแสงต่ำ ซึ่งความกว้างของรูปากใบมีความสัมพันธ์กับอัตราการคายน้ำ อย่างไรก็ตามในบางกรณีถึงแม้ความเข้มแสงมากแต่มีน้ำในดินน้อย พืชจะเริ่มขาดแคลนน้ำ ปากใบจะปิด ทำให้การคายน้ำของพืชลดลง

ความรู้เพิ่มเติม

การเก็บเกี่ยวและการเก็บรักษาผลผลิตทางการเกษตรบางชนิดมีการใช้ความรู้เพื่อลดการคายน้ำ ทำให้ผลผลิตมีปริมาณน้ำในเซลล์สูง ซึ่งจะยืดระยะเวลาความสดของผลผลิต เช่น การเก็บเกี่ยวดอกไม้หรือผลไม้ในเวลาเช้ามืดซึ่งเป็นช่วงเวลาที่ความเข้มแสงต่ำ อุณหภูมิต่ำ และความชื้นสัมพัทธ์สูง การควบคุมให้อุณหภูมิต่ำขณะขนส่ง การใช้สารเคลือบที่ผิวของผลไม้เพื่อปิดรูปากใบที่ผิวของผล การใช้พลาสติกหุ้ม การนำผลไม้มาชุบสารละลายกรดซาลิไซลิก (salicylic acid) ซึ่งช่วยให้ปากใบที่ผิวของผลปิดก่อนขนส่ง



ผลไม้ที่ใช้สารเคลือบผิว

10.3 การลำเลียงธาตุอาหาร

ในการดำรงชีวิตของพืชนั้น นอกจากการรักษาสมดุลของน้ำแล้ว ธาตุอาหารหลายชนิดก็มีความสำคัญต่อการดำเนินกิจกรรมต่าง ๆ ของพืชเช่นกัน โดยทั่วไปพืชจะได้รับธาตุอาหารเหล่านี้จากดินโดยการดูดซึมผ่านทางราก **พืชมีการลำเลียงธาตุอาหารได้อย่างไร**

10.3.1 การเคลื่อนที่ของธาตุอาหารเข้าสู่พืช

การเคลื่อนที่ของธาตุอาหารเข้าสู่รากพืชนั้นแตกต่างจากน้ำ ในขณะที่โมเลกุลของน้ำเคลื่อนที่ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ได้โดยออสโมซิส ธาตุอาหารไม่สามารถแพร่ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ได้โดยตรง เนื่องจากอยู่ในรูปของไอออนชนิดต่าง ๆ ดังนั้นธาตุอาหารจะเข้าสู่เซลล์พืชและเข้าสู่ไซเล็มได้โดยอาศัยโปรตีนลำเลียง (transport protein) ซึ่งมีทั้งแบบฟาซิลิเทตและแบบแอกทีฟทรานสปอร์ต โดยธาตุอาหารแต่ละชนิดจะมีกลไกในการเข้าสู่เซลล์พืชแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับสมบัติของธาตุอาหารนั้น

ธาตุอาหารที่จะเข้าไปในไซเล็มสามารถเคลื่อนที่ผ่านชั้นคอร์เทกซ์ของรากได้โดยการลำเลียงแบบซิมพลาสต์ แบบอโพพลาสต์ หรือแบบทรานส์เมมเบรน แล้วเข้าสู่เซลล์เอนโดเดอร์มิสก่อนเข้าสู่ไซเล็ม เมื่อธาตุอาหารเข้าสู่ไซเล็มในรากแล้วจะเคลื่อนที่ไปยังส่วนต่าง ๆ ของพืชพร้อมกับการลำเลียงน้ำในไซเล็ม

การเชื่อมโยงความรู้

หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ ชีววิทยา เล่ม 1 บทที่ 3 เซลล์และการทำงานของเซลล์ เรื่อง การลำเลียงสารเข้าและออกจากเซลล์

ความรู้เพิ่มเติม

ไนโตรเจนส่วนมากอยู่ในรูปที่พืชไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้ เช่น แก๊สไนโตรเจนในอากาศ แต่รากพืชบางชนิด เช่น พืชวงศ์ถั่ว มีไรโซเบียม (*Rhizobium* sp.) ซึ่งเป็นแบคทีเรียที่สามารถตรึงไนโตรเจนจากอากาศมาสร้างเป็นแอมโมเนียที่พืชนำไปใช้ประโยชน์ได้ โดยไรโซเบียมจะกระตุ้นให้รากพืชสร้างปมซึ่งเป็นโครงสร้างที่มีภาวะเหมาะสมต่อการตรึงไนโตรเจน เมื่อเก็บเกี่ยวและไถกลบไนโตรเจนที่อยู่ในปมรากนี้จะกลายเป็นปุ๋ยให้กับพืชในรุ่นถัดไป



ปมรากถั่ว

10.3.2 ความสำคัญของธาตุอาหาร

พืชต้องการธาตุอาหารเพื่อใช้ในกิจกรรมต่าง ๆ ในการดำรงชีวิต ธาตุ C H และ O เป็นธาตุหลักที่พบในโครงสร้างและองค์ประกอบที่สำคัญของสิ่งมีชีวิตทุกชนิดรวมทั้งพืช พืชได้รับธาตุ C H และ O จากน้ำ ธาตุอาหารที่มีอยู่ในดิน และได้รับในรูปของแก๊สต่าง ๆ จากบรรยากาศ นอกจากนี้ยังมีธาตุอาหารอื่น ๆ ที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิตของพืช เป็นธาตุอาหารที่เป็นองค์ประกอบของโครงสร้างหรือกระบวนการเมแทบอลิซึม หากขาดธาตุอาหารเหล่านี้ไปจะทำให้เกิดความผิดปกติต่อการเจริญเติบโตหรือการสืบพันธุ์ จนทำให้พืชไม่สามารถเจริญเติบโตได้ครบวัฏจักรชีวิต

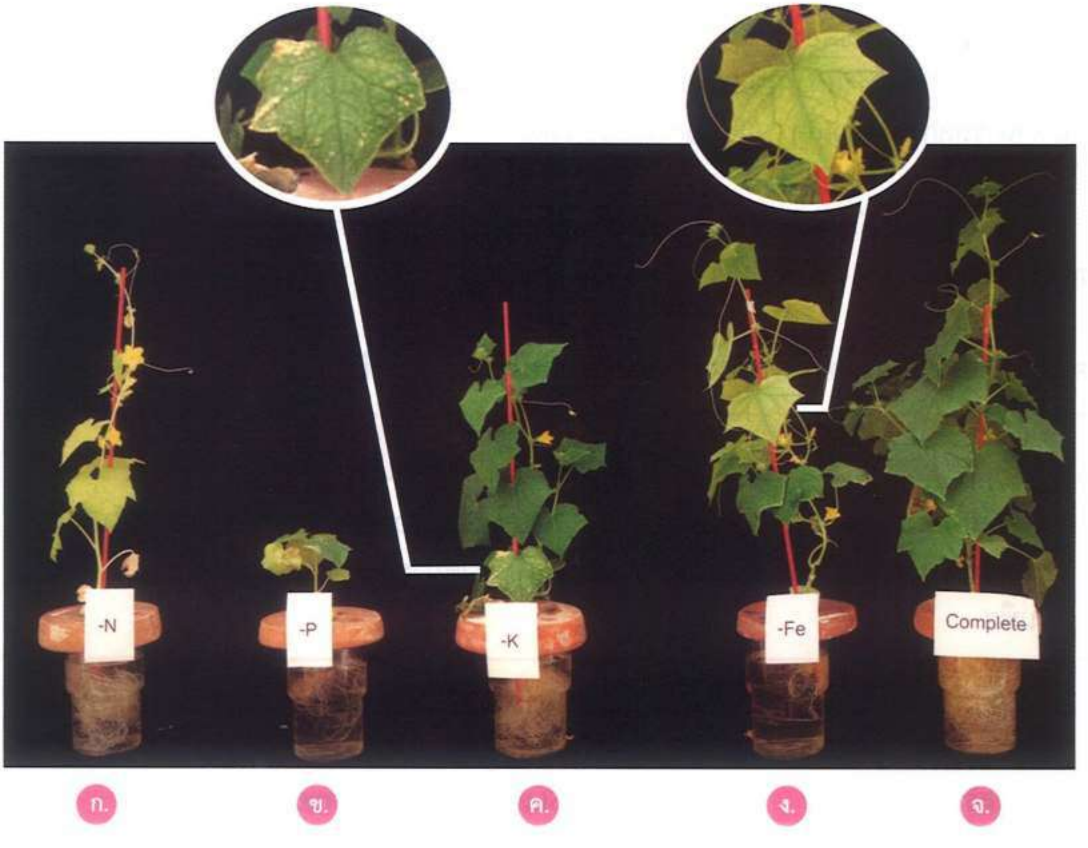
พืชต้องการธาตุอาหารแต่ละชนิดในปริมาณไม่เท่ากัน อาจแบ่งออกได้เป็นธาตุอาหารหลัก (macronutrient) ซึ่งเป็นธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณมาก ได้แก่ ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) โพแทสเซียม (K) แคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) และกำมะถัน (S) และธาตุอาหารรอง (micronutrient) ซึ่งเป็นธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณน้อย ได้แก่ คลอรีน (Cl) เหล็ก (Fe) สังกะสี (Zn) โบรอน (B) แมงกานีส (Mn) ทองแดง (Cu) และโมลิบดีนัม (Mo) ในปัจจุบันได้มีการเสนอซิลิกอน (Si) เป็นธาตุอาหารหลัก และนิกเกิล (Ni) เป็นธาตุอาหารรอง

ธาตุอาหารแต่ละชนิดมีบทบาทหน้าที่แตกต่างกันออกไปจึงอาจแบ่งธาตุอาหารโดยพิจารณาตามหน้าที่และการทำงานได้เป็น 4 กลุ่ม ดังตาราง 10.1

ตาราง 10.1 ธาตุอาหารที่พืชต้องการ แบ่งตามหน้าที่และการทำงาน

กลุ่ม	ธาตุอาหาร	ตัวอย่าง
1. กลุ่มที่เป็นองค์ประกอบของสารประกอบคาร์บอนในพืช	N และ S	N และ S เป็นองค์ประกอบของกรดแอมิโน N เป็นองค์ประกอบของนิวคลีโอไทด์
2. กลุ่มที่เกี่ยวข้องกับการสะสมพลังงานและรักษาโครงสร้าง	P Si และ B	P เป็นองค์ประกอบของเยื่อหุ้มเซลล์และมีส่วนสำคัญในกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับสารพลังงานสูง (ATP) Si เกี่ยวข้องกับสมบัติของผนังเซลล์ B เกี่ยวข้องกับการยืดยาวของเซลล์
3. กลุ่มที่ทำงานในรูปไอออน	K Ca Mg Cl และ Zn	K เกี่ยวข้องกับการควบคุมความเต่งของเซลล์ Ca เป็นองค์ประกอบของมิดเดิลลาเมลลา Mg เป็นองค์ประกอบของคลอโรฟิลล์
4. กลุ่มที่เกี่ยวกับการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอน	Fe Mn Cu Ni และ Mo	Fe และ Cu เป็นองค์ประกอบของไซโทโครม Fe และ Mn เกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง

การได้รับธาตุอาหารบางชนิดน้อยเกินไปอาจส่งผลให้พืชแสดงอาการต่าง ๆ ดังรูป 10.12



รูป 10.12 อาการของต้นแตงกวาที่ขาดธาตุอาหารบางชนิด

ก. ขาดธาตุไนโตรเจน ใบมีสีเหลืองทั้งใบทุกใบ โดยแสดงอาการที่ใบล่างก่อน ต้นขนาดเล็กกว่าปกติ

ข. ขาดธาตุฟอสฟอรัส ใบเหลืองโดยแสดงอาการที่ใบล่างก่อน ลำต้นแคระแกร็น การเติบโตของรากลดลง

ค. ขาดธาตุโพแทสเซียม ขอบใบและปลายใบไหม้ เนื้อเยื่อใบตายเป็นจุด ๆ โดยเกิดอาการที่ใบล่างก่อน

ง. ขาดธาตุเหล็ก ใบอ่อนที่เกิดใหม่สีเหลืองซีด

จ. ได้รับธาตุอาหารครบ

กิจกรรม 10.2 ธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช

จุดประสงค์

1. สืบค้นข้อมูลและอภิปรายเกี่ยวกับชนิดของธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช
2. สืบค้นข้อมูลและอธิบายอาการของพืชเมื่อขาดธาตุอาหาร

วิธีการทำกิจกรรม

1. ให้นักเรียนแบ่งกลุ่มและเลือกชนิดพืชที่สนใจเพื่อสืบค้นข้อมูลอาการขาดธาตุอาหารชนิดต่าง ๆ พร้อมให้เหตุผลที่เลือกพืชชนิดนั้น
2. สืบค้นข้อมูลชนิดของธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช และอาการขาดธาตุอาหารชนิดต่าง ๆ ในพืชที่เลือก พร้อมแนวทางในการแก้ไขการขาดธาตุอาหารชนิดนั้น
3. จัดการข้อมูลและออกแบบรูปแบบการนำเสนอข้อมูลที่ได้ โดยอาจทำในรูปแบบของแผ่นพับ infographic โปสเตอร์ และนำเสนอในชั้นเรียน

คำถามท้ายกิจกรรม

? ถ้าพืชต่างชนิดขาดธาตุอาหารชนิดเดียวกัน พืชจะแสดงอาการเหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร ให้ระบุชนิดพืช ธาตุอาหาร และอาการที่พืชแสดงออก

พืชแต่ละชนิดต้องการปริมาณธาตุอาหารที่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตสูงสุดแตกต่างกันออกไป เช่น ส้มต้องการโพแทสเซียมในปริมาณที่น้อยกว่าข้าว แต่ต้องการแมกนีเซียมในปริมาณที่มากกว่าข้าวเล็กน้อย เป็นต้น

ชวนคิด

ถ้าพืชได้รับธาตุอาหารในปริมาณมากเกินไปจะส่งผลอย่างไร

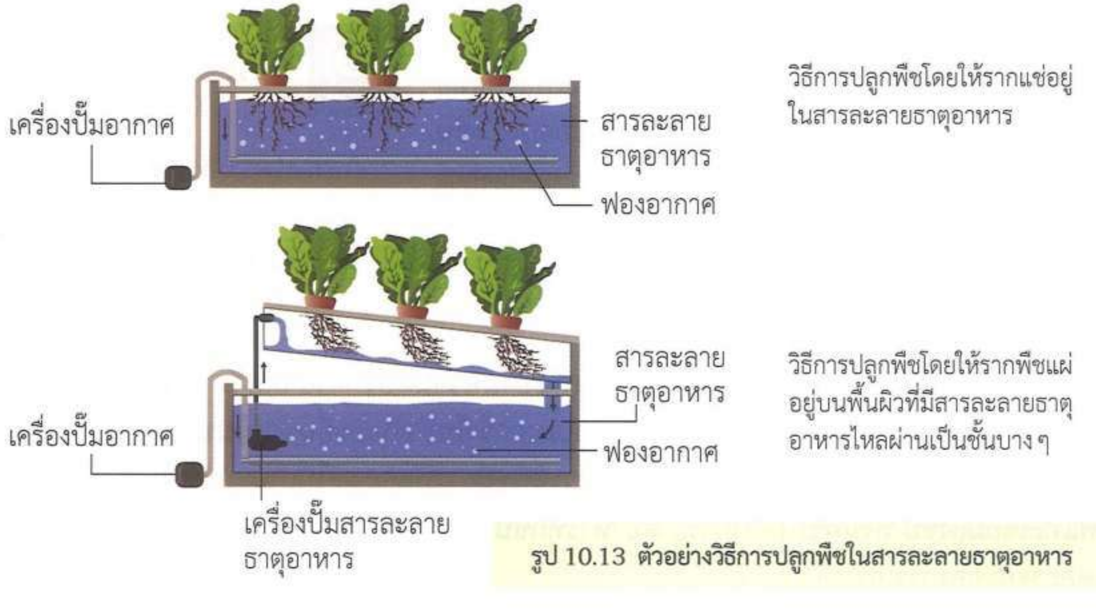
นอกจากนี้ในแต่ละระยะการเจริญของพืชยังมีความต้องการธาตุอาหารแตกต่างกันไป เช่น ในระยะของการสร้างใบ พืชต้องการไนโตรเจนมากกว่าในช่วงระยะอื่น ส่วนในระยะการสร้างดอก พืชต้องการฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม หรือในช่วงที่พืชมีการพัฒนาผลไปเป็นผลแก่ พืชอาจต้องการโพแทสเซียมสูงขึ้น ทั้งนี้พืชยังต้องการธาตุอาหารทุกชนิดในปริมาณที่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตในแต่ละระยะของการเจริญด้วย

ความรู้เพิ่มเติม

การที่พืชได้รับธาตุอาหารที่เหมาะสมตลอดระยะการเจริญเติบโต จะทำให้พืชให้ผลผลิตสูงและมีคุณภาพดีกว่าการเพิ่มธาตุอาหารให้แก่พืชเพื่อแก้ปัญหาเมื่อพืชแสดงอาการ นอกจากนี้พืชแต่ละชนิดยังต้องการปริมาณธาตุอาหารแต่ละชนิดต่างกัน และดินในแต่ละบริเวณก็มีปริมาณธาตุอาหารที่แตกต่างกัน ดังนั้นการทำปุ๋ยสั่งตัด ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ธาตุอาหารในดิน หาข้อมูลธาตุอาหารที่พืชต้องการ และนำข้อมูลที่ได้มาคำนวณสัดส่วนของธาตุอาหารในปุ๋ยตามที่ต้องการ จึงเป็นวิธีที่ได้รับการแนะนำเพื่อนำมาใช้ในการเตรียมสภาพดินและการวางแผนการปลูกให้เหมาะกับชนิดพืช ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่าย ลดการใช้ปุ๋ยเกินจำเป็น และได้ผลผลิตที่ดี

จากความรู้เรื่องสมบัติของธาตุอาหารต่าง ๆ สามารถนำมาประยุกต์ใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย เกษตรกรสามารถสังเกตและบอกสาเหตุเมื่อพืชเกิดอาการผิดปกติเนื่องจากการขาดธาตุอาหาร และเลือกใช้ปุ๋ยเพื่อเพิ่มธาตุอาหารให้แก่พืช รวมถึงการวางแผนในการปลูกพืชหมุนเวียนได้อย่างเหมาะสม

นอกจากนี้ ความรู้เรื่องธาตุอาหารยังนำไปใช้ประโยชน์ในการปลูกพืชในสารละลายที่มีธาตุอาหารหรือ**ไฮโดรพอนิกส์** (hydroponics) ดังรูป 10.13 โดยพืชจะได้รับเพียงธาตุอาหาร น้ำ อากาศ และแสง ซึ่งธาตุอาหารส่วนใหญ่ที่พืชใช้ประโยชน์ได้จะละลายน้ำอยู่ในรูปไอออน



รูป 10.13 ตัวอย่างวิธีการปลูกพืชในสารละลายธาตุอาหาร

เมื่อปลูกพืชไฮโดรพอนิกส์เป็นระยะเวลาหนึ่ง ค่า pH ของสารละลายจะเปลี่ยนแปลงได้ เนื่องจากพืชใช้ธาตุอาหารแต่ละชนิดในอัตราที่แตกต่างกัน ทำให้ปริมาณธาตุอาหารในรูปที่พืชจะนำไปใช้ได้เปลี่ยนไปด้วย ดังนั้นการปลูกพืชไฮโดรพอนิกส์จึงต้องปรับค่า pH ให้เปลี่ยนแปลงน้อยที่สุดหรือไม่เปลี่ยนแปลงเลย

? เพราะเหตุใดจึงมีการปั๊มอากาศเติมลงในสารละลายธาตุอาหารในการปลูกพืชไฮโดรพอนิกส์

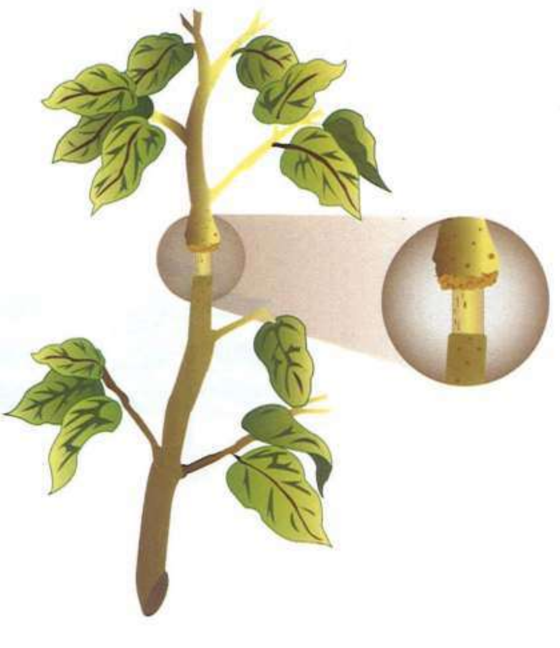
? ในการปลูกพืชไฮโดรพอนิกส์ ปัจจัยใดบ้างที่มีผลต่อการนำธาตุอาหารเข้าสู่รากพืช

10.4 การลำเลียงอาหาร

กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงส่วนใหญ่เกิดขึ้นที่ใบ โดยพืชได้รับ CO_2 ผ่านทางปากใบ เพื่อสร้างอาหารที่จะนำไปใช้ในการดำรงชีวิต การเจริญเติบโต และสะสมในส่วนต่าง ๆ ของพืช **พืชมีการลำเลียงอาหารที่สร้างขึ้นไปยังส่วนต่าง ๆ ของพืชได้อย่างไร**

10.4.1 การศึกษาการเคลื่อนย้ายอาหารในพืช

นักวิทยาศาสตร์ศึกษาการเคลื่อนย้ายอาหารในพืช พบว่าพืชมีการลำเลียงอาหารผ่านทางเนื้อเยื่อโฟลเอ็ม โดยจากการศึกษาของมาร์เซลโล มัลพิจิ (Marcello Malpighi) ซึ่งควั่นรอบเปลือกลำต้นพืชใบเลี้ยงคู่ชนิดหนึ่งโดยให้รอยควั่นห่างกันประมาณ 2 เซนติเมตร และลอกส่วนของเปลือกลำต้นบริเวณรอยควั่นออก เมื่อปล่อยให้พืชเจริญต่อไประยะหนึ่งพบว่าเปลือกลำต้นบริเวณเหนือรอยควั่นมีการพองออก ดังรูป 10.14



รูป 10.14 การพองของเปลือกลำต้นบริเวณเหนือรอยควั่น

ในเวลาต่อมา ที จี เมสัน (T.G. Mason) และ อี เจ มัสเคล (E.J. Maskell) พบว่าการควั่นเปลือกลำต้นพืชดังกล่าวไม่มีผลต่อการคายน้ำเนื่องจากไซเล็มยังคงสามารถลำเลียงน้ำได้ ในขณะที่ส่วนของลำต้นเหนือรอยควั่นมีการพองออก เนื่องจากมีการสะสมของน้ำตาลที่ไม่สามารถลำเลียงผ่านเนื้อเยื่อโฟลเอ็มมายังส่วนด้านล่างของลำต้นได้

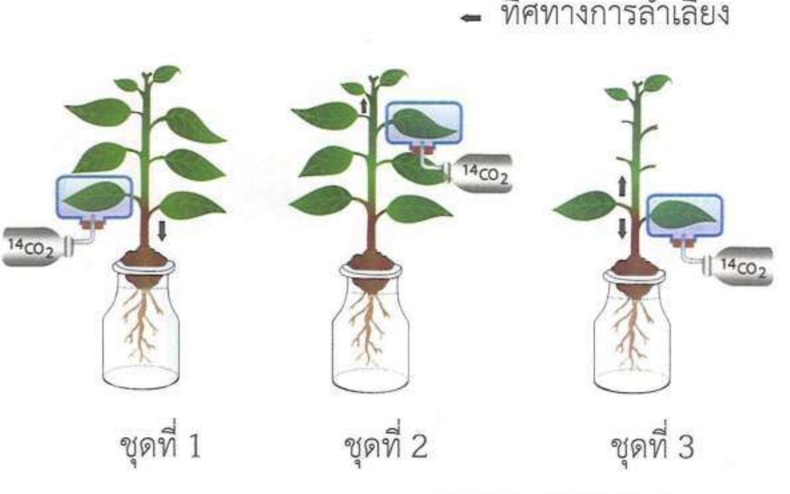
? ส่วนของเปลือกลำต้นที่ถูกลอกออกควรจะเป็นเนื้อเยื่อชนิดใด

? เพราะเหตุใดน้ำตาลจึงไม่สามารถลำเลียงผ่านมายังส่วนด้านล่างของลำต้นจนทำให้เกิดการพองของเปลือกลำต้นเหนือรอยควั่น

ตรวจสอบความเข้าใจ

? ถ้าทำการทดลองโดยควั่นรอบเปลือกลำต้นอ้อยและลอกส่วนเปลือกบริเวณรอยควั่นออก จะได้ผลเช่นเดียวกับการทดลองนี้หรือไม่ เพราะเหตุใด

การลำเลียงอาหารที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชนั้นมีทิศทางจากใบไปยังส่วนต่าง ๆ ซึ่งสร้างอาหารได้น้อยหรือไม่มีการสร้างอาหาร จากการศึกษาการลำเลียงน้ำตาลในพืชโดยใช้ $^{14}CO_2$ แล้วทำการทดลองดังรูป 10.15 ซึ่งพืชจะใช้ $^{14}CO_2$ ที่ผ่านเข้าสู่พืชทางปากใบในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง



รูป 10.15 การศึกษาการลำเลียงน้ำตาลในพืช

หลังจากการทดลองให้พืชได้รับแสงเป็นระยะเวลาหนึ่ง แล้วนำเนื้อเยื่อส่วนต่าง ๆ มาตรวจสอบน้ำตาลที่มี ^{14}C พบว่า จากการทดลองชุดที่ 1 พบน้ำตาลที่มี ^{14}C ที่ส่วนล่างของพืช การทดลองชุดที่ 2 พบน้ำตาลที่มี ^{14}C ที่ส่วนยอดของพืช ส่วนการทดลองชุดที่ 3 พบน้ำตาลที่มี ^{14}C ที่ส่วนบนและส่วนล่างหรือพบในทุกส่วนของพืช โดยส่วนใหญ่พบ ^{14}C ในซีฟทิวบ์

จะเห็นได้ว่าพืชมีการลำเลียงอาหารผ่านโฟลเอ็ม โดยมีการลำเลียงจากบริเวณใบซึ่งเป็นแหล่งที่มีการสร้างอาหาร เรียกว่า แหล่งสร้าง ไปยังบริเวณที่มีการสร้างอาหารได้น้อยหรือไม่มีการสร้างอาหาร เรียกว่า แหล่งรับ เช่น ยอด ราก ทิศทางการลำเลียงอาหารจึงมีทั้งขึ้นไปสู่ยอดและลงสู่ราก ซึ่งจะแตกต่างจากการลำเลียงน้ำและธาตุอาหารในไซเล็มซึ่งมีทิศทางจากรากไปสู่ยอดเท่านั้น โดยมีการลำเลียงผ่านซีฟทิวบ์ในโฟลเอ็ม ซึ่งสารที่พบในโฟลเอ็มนั้นส่วนใหญ่เป็นน้ำตาลซูโครส

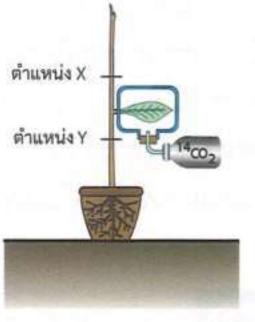
ความรู้เพิ่มเติม

โฟลเอ็มเป็นเนื้อเยื่อที่ประกอบด้วยเซลล์หลายชนิด จึงเป็นการยากที่จะสกัดของเหลวจากซีฟทิวบ์ในโฟลเอ็มโดยไม่ปนเปื้อนสารที่อยู่ในเซลล์อื่น ๆ นักวิทยาศาสตร์จึงใช้เพลี้ยอ่อนในการศึกษาของเหลวดังกล่าว เนื่องจากเพลี้ยอ่อนจะหาอาหารโดยใช้ส่วนปากซึ่งมีลักษณะเป็นหลอดยาวเจาะเข้าไปในซีฟทิวบ์ของใบหรือลำต้น การศึกษาของเหลวที่ถูกลำเลียงผ่านโฟลเอ็มจึงใช้วิธีทำให้เพลี้ยอ่อนสลบโดยรมด้วย CO_2 ในขณะที่กำลังดูดของเหลวจากซีฟทิวบ์ จากนั้นใช้เลเซอร์ตัดส่วนปากของเพลี้ยอ่อนโดยปลายข้างหนึ่งจะยังเจาะอยู่ภายในซีฟทิวบ์ แรงดันภายในซีฟทิวบ์จะดันให้ของเหลวไหลออกมาจากรอยตัดของส่วนปาก นักวิทยาศาสตร์จึงสามารถนำของเหลวที่ลำเลียงผ่านซีฟทิวบ์มาศึกษาได้



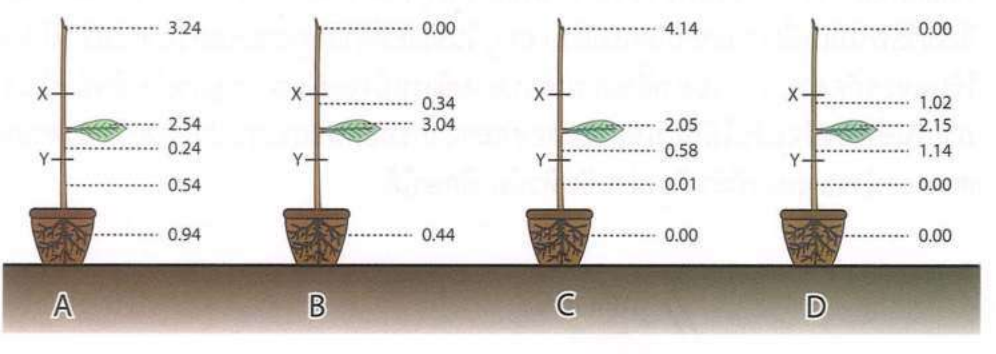
ตรวจสอบความเข้าใจ

? ในการศึกษาการลำเลียงน้ำตาลในโฟลเอ็มของต้นพืชที่มีเนื้อไม้โดยให้ $^{14}CO_2$ ทำการทดลองโดยตัดใบในแต่ละต้นออกให้เหลือเพียง 1 ใบ แล้วทำลายโฟลเอ็มที่ตำแหน่ง X และ/หรือตำแหน่ง Y ก่อนให้ $^{14}CO_2$ กับต้นพืช ดังรูป



โดยทำการทดลอง 4 ชุด ดังนี้
การทดลองชุด ก. ไม่มีการทำลายโฟลเอ็ม
การทดลองชุด ข. ทำลายโฟลเอ็มที่ตำแหน่ง X
การทดลองชุด ค. ทำลายโฟลเอ็มที่ตำแหน่ง Y
การทดลองชุด ง. ทำลายโฟลเอ็มที่ตำแหน่ง X และ Y

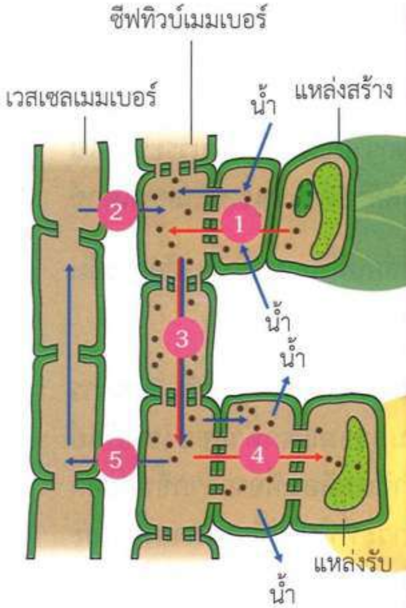
จากนั้นตั้งชุดการทดลองให้ได้รับแสงแล้วตรวจสอบปริมาณสารประกอบที่มี ^{14}C ในตำแหน่งต่าง ๆ ของต้นพืช ได้ผลการทดลองที่แสดงปริมาณสารกัมมันตรังสี ^{14}C ในตำแหน่งต่าง ๆ ดังรูป A, B, C และ D



ผลการทดลองที่ได้ในแต่ละรูปสัมพันธ์กับชุดการทดลองใด เพราะเหตุใด

10.4.2 กลไกการลำเลียงอาหาร

ในปี พ.ศ. 2473 แอ็นสท์ มึนช์ (Ernst Münch) นักวิทยาศาสตร์ชาวเยอรมัน ได้อธิบายกระบวนการลำเลียงอาหารในโฟลเอ็มซึ่งสรุปได้ว่า น้ำตาลบางส่วนที่พืชสร้างขึ้นจากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงในคลอโรพลาสต์จะถูกลำเลียงออกมาในไซโทพลาซึมแล้วเปลี่ยนเป็นน้ำตาลซูโครส จากนั้นซูโครสจะเคลื่อนย้ายจากเซลล์ในบริเวณที่เป็นแหล่งสร้างไปยังโฟลเอ็ม และถูกลำเลียงไปยังส่วนต่าง ๆ ผ่านทางซีฟทิวบ์ โดยแบบจำลองการลำเลียงในโฟลเอ็มของพืชดอกอาศัยความแตกต่างของความดันในซีฟทิวบ์เมมเบอร์บริเวณแหล่งสร้างกับแหล่งรับ ที่ผลักดันให้เกิดการเคลื่อนที่ของสารในโฟลเอ็ม ซึ่งเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง ดังรูป 10.16



1 ซูโครสออกจากแหล่งสร้างเข้าสู่ซีฟทิวบ์เมมเบอร์ ความเข้มข้นของสารละลายในซีฟทิวบ์เมมเบอร์จึงสูงขึ้น ทำให้ชลศักย์ต่ำลง

2 น้ำจากเซลล์ข้างเคียงและเวสเซลเมมเบอร์ซึ่งมีชลศักย์สูงกว่าจึงเข้าซีฟทิวบ์เมมเบอร์โดยออสโมซิส ทำให้ความดันในซีฟทิวบ์เมมเบอร์บริเวณแหล่งสร้างสูงขึ้น

3 ความดันที่สูงขึ้นทำให้สารละลายในซีฟทิวบ์เมมเบอร์ซึ่งมีซูโครสอยู่เคลื่อนจากซีฟทิวบ์เมมเบอร์บริเวณแหล่งสร้างไปยังซีฟทิวบ์เมมเบอร์บริเวณแหล่งรับที่มีความดันต่ำกว่า

4 ซูโครสเคลื่อนที่ออกจากซีฟทิวบ์เมมเบอร์เข้าสู่เซลล์ในเนื้อเยื่อบริเวณแหล่งรับ ทำให้ความเข้มข้นของสารละลายในซีฟทิวบ์เมมเบอร์ลดลง ชลศักย์จึงสูงขึ้น

5 เมื่อชลศักย์สูงขึ้น น้ำจากซีฟทิวบ์เมมเบอร์จึงเคลื่อนที่ออกสู่เซลล์ข้างเคียงและเวสเซลเมมเบอร์โดยออสโมซิส ทำให้ความดันในซีฟทิวบ์เมมเบอร์บริเวณแหล่งรับต่ำลง ซึ่งทำให้ยังคงมีความแตกต่างของความดันในซีฟทิวบ์เมมเบอร์ระหว่างบริเวณแหล่งสร้างกับแหล่งรับ การลำเลียงสารในโฟลเอ็มจึงเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง

รูป 10.16 แบบจำลองกลไกการลำเลียงอาหารในโฟลเอ็มของพืชดอก

การดำรงชีวิตของพืชจำเป็นต้องมีการลำเลียงน้ำ ธาตุอาหาร รวมทั้งการลำเลียงอาหารที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ซึ่งกระบวนการลำเลียงดังกล่าวจะเกิดผ่านเนื้อเยื่อต่างชนิด และอาศัยกลไกต่าง ๆ ดังที่ได้ศึกษาข้างต้น การลำเลียงของพืชนี้ทำให้พืชสามารถลำเลียงสารไปยังส่วนต่าง ๆ ทั้งสารที่พืชสร้างขึ้นเองและสารที่พืชได้รับจากภายนอก ซึ่งส่งผลต่อการดำรงชีวิตของพืช

สรุปเนื้อหาภายในบทเรียน

1. พืชดูดน้ำจากดินโดยเซลล์ขนราก การเคลื่อนที่ของน้ำจากดินเข้าสู่รากเกิดจากชลศักย์ของสารละลายในดินมีค่าสูงกว่าชลศักย์ของสารละลายในรากพืช
2. เมื่อน้ำเข้าสู่รากจะเคลื่อนที่ผ่านชั้นคอร์เทกซ์เข้าสู่ไซเล็มผ่านการลำเลียง 3 แบบ คือ แบบซิมพลาสต์ แบบอโพพลาสต์ และแบบทรานส์เมมเบรน เป็นการเคลื่อนที่ในแนวระนาบในคอร์เทกซ์จากเซลล์ที่มีชลศักย์สูงไปต่ำและเข้าสู่ไซเล็มซึ่งมีชลศักย์ต่ำกว่าเซลล์ในคอร์เทกซ์
3. การลำเลียงน้ำจากไซเล็มในรากขึ้นสู่ยอดของพืชเป็นการเคลื่อนที่ในแนวดิ่ง อาศัยการซึมตามรูเล็ก แรงดึงจากการคายน้ำ และความดันราก
4. การเคลื่อนที่ของน้ำจากการซึมตามรูเล็กเป็นผลจากแรงโคฮีชันและแรงแอดฮีชัน ส่วนการเคลื่อนที่ของน้ำจากแรงดึงจากการคายน้ำเป็นไปตามความแตกต่างของชลศักย์ การคายน้ำทำให้ชลศักย์ที่ใบลดลงต่ำกว่าชลศักย์ที่ราก น้ำจึงเคลื่อนที่จากรากขึ้นสู่ยอด ในขณะที่การเคลื่อนที่ของน้ำจากความดันรากเกิดในภาวะที่พืชไม่มีการคายน้ำและน้ำในดินมีมากพอ ความดันรากทำให้ชลศักย์ที่รากสูงขึ้น น้ำจึงเคลื่อนที่ขึ้นสู่ยอด และอาจทำให้เกิดกัตเตชัน
5. พืชมีการแลกเปลี่ยนแก๊สกับบรรยากาศผ่านทางปากใบเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งจะเกิดเมื่อความเข้มข้นของแก๊สในอากาศแตกต่างจากภายในใบพืช แก๊สจะแพร่จากบริเวณที่มีความเข้มข้นสูงไปยังบริเวณที่มีความเข้มข้นต่ำ
6. ในระหว่างที่พืชเปิดปากใบเพื่อแลกเปลี่ยนแก๊สจะมีการคายน้ำเกิดขึ้น การคายน้ำเป็นการสูญเสียน้ำในรูปไอน้ำ เมื่อชลศักย์ของน้ำในใบพืชสูงกว่าชลศักย์ของน้ำในบรรยากาศ ไอน้ำในใบพืชจะแพร่ออกสู่ภายนอกผ่านทางรูปากใบ โดยมีหลายปัจจัยที่มีผลต่อการคายน้ำ เช่น ความชื้นสัมพัทธ์ ลม อุณหภูมิ ปริมาณน้ำในดิน ความเข้มแสง

7. การเปิดปิดปากใบของพืชเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงความเต่งของเซลล์คุม โดยความเข้มข้นของสารละลายภายในเซลล์คุมเปลี่ยนแปลงเนื่องจากการเคลื่อนที่เข้าและออกของโพแทสเซียมไอออน และสารต่าง ๆ ส่งผลให้น้ำมีการเคลื่อนที่เข้าและออกจากเซลล์ เมื่อเซลล์คุมเต่ง เซลล์คุมจะโค้งตัวแยกจากกันทำให้ปากใบเปิด และเมื่อเซลล์คุมสูญเสียความเต่ง เซลล์คุมจะแนบกันสนิททำให้ปากใบปิด

8. พืชต้องการธาตุอาหารหลายชนิดในการดำรงชีวิต ธาตุอาหารในดินจะเคลื่อนเข้าสู่พืชผ่านทางเซลล์ขนราก และผ่านเยื่อหุ้มเซลล์เข้าสู่เซลล์พืชโดยอาศัยโปรตีนลำเลียงบนเยื่อหุ้มเซลล์ ก่อนเข้าสู่ไซเล็มในรากและถูกลำเลียงไปยังส่วนต่าง ๆ ของพืชพร้อมกับการลำเลียงน้ำในไซเล็ม

9. พืชต้องการธาตุอาหารแต่ละชนิดในปริมาณไม่เท่ากัน และปริมาณธาตุอาหารที่พืชต้องการยังแตกต่างกันไปในแต่ละระยะการเจริญและแตกต่างไปตามชนิดพืช การที่พืชได้รับธาตุอาหารมากหรือน้อยเกินความต้องการจะทำให้พืชแสดงอาการต่าง ๆ

10. พืชลำเลียงอาหารจากบริเวณแหล่งสร้างไปยังแหล่งรับ โดยอาหารที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยแสงจะถูกเปลี่ยนเป็นซูโครสและถูกลำเลียงผ่านทางโฟลเอ็มโดยอาศัยความแตกต่างของความดันในซีฟทิวบ์เมมเบอร์ระหว่างบริเวณแหล่งสร้างและแหล่งรับ

แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 10

1. จงใส่เครื่องหมายถูก (√) หน้าข้อความที่ถูกต้อง ใส่เครื่องหมายผิด (×) หน้าข้อความที่ไม่ถูกต้อง และขีดเส้นใต้เฉพาะคำหรือส่วนของข้อความที่ไม่ถูกต้อง และแก้ไขโดยตัดออกหรือเติมคำหรือข้อความที่ถูกต้องลงในช่องว่าง

.......1.1 เมื่ออากาศมีความชื้นสัมพัทธ์สูง พืชบางชนิดเกิดกัตเตชัน โดยพบหยดน้ำที่ขอบใบหรือปลายใบซึ่งผ่านออกมาทางเลนทิเซล

....

.......1.2 การลำเลียงอาหารในโฟลเอ็มจะลำเลียงในรูปของน้ำตาลกลูโคสไปยังส่วนต่าง ๆ ของพืชผ่านทางซีฟทิวบ์

....

.......1.3 ไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารหลักที่พืชต้องการในปริมาณมาก พืชที่ขาดธาตุไนโตรเจนอย่างรุนแรงใบจะมีสีเหลืองทุกใบ

....

.......1.4 พืชลำเลียงน้ำผ่านทางไซเล็มซึ่งมีเซลล์ที่ทำหน้าที่ 2 ชนิด คือ ซีฟทิวบ์เมมเบอร์และเวสเซลเมมเบอร์

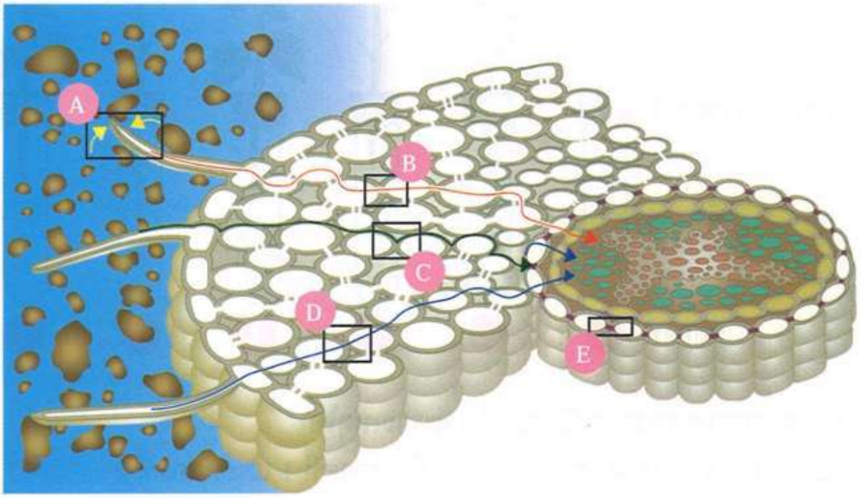
....

.......1.5 การเปิดปิดของรูปากใบเกี่ยวข้องกับความเต่งของเซลล์คุมซึ่งขึ้นกับความเข้มข้นของสารละลายภายในเซลล์คุมที่เกิดจากปริมาณ Na^+ และซูโครส

....

2. จากรูปการลำเลียงน้ำจากดินเข้าสู่เซลล์ขนราก และไปยังไซเล็ม จงเติมคำต่อไปนี้ลงในช่องว่างให้ถูกต้อง

osmosis	Casparian strip	symplast pathway	apoplast pathway
cell wall	cell membrane	facilitated diffusion	transmembrane pathway
endodermis	plasmodesmata		



A. น้ำในดินเคลื่อนที่เข้าสู่เซลล์ขนรากผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ด้วยวิธี .... และ ....

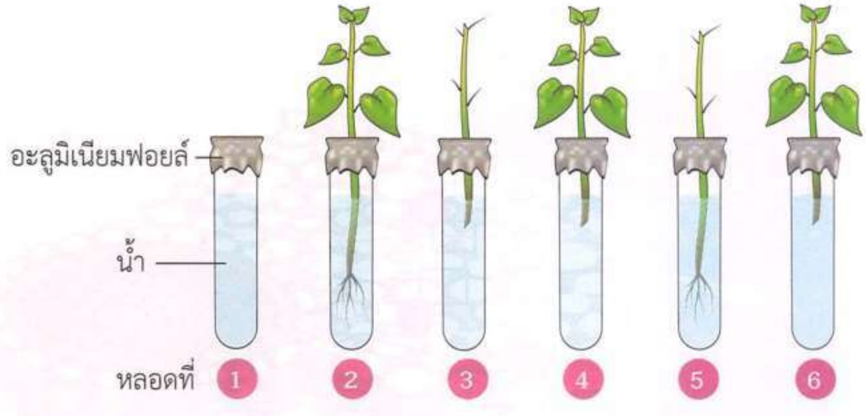
B. การลำเลียงน้ำแบบที่เรียกว่า..............................เป็นการลำเลียงน้ำจากเซลล์หนึ่งไปสู่อีกเซลล์หนึ่งผ่านทาง..............................เข้าสู่เซลล์ชั้นในจนถึงไซเล็ม

C. การลำเลียงน้ำแบบที่เรียกว่า...เป็นการลำเลียงน้ำไปตาม..........................หรือช่องว่างระหว่างเซลล์

D. การลำเลียงน้ำแบบที่เรียกว่า..............................เป็นการลำเลียงน้ำผ่าน...................ของสองเซลล์ที่ติดกัน

E. บริเวณผนังเซลล์ของเซลล์บางชนิดมีสารซูเบอรินมาสะสมเป็นแถบเล็ก ๆ เรียกว่า ....พบที่บริเวณ......................... โดยสะสมที่ผนังเซลล์เกือบทุกด้าน ยกเว้นด้านที่ขนานกับเอพิเดอร์มิส ทำให้น้ำไม่สามารถเคลื่อนที่ผ่านผนังเซลล์ด้านที่มีซูเบอรินสะสมอยู่ได้

3. จากการทดลองเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการดูดน้ำและการคายน้ำ โดยจัดชุดการทดลองดังรูป พืชที่นำมาทำการทดลองมีปากใบเฉพาะบริเวณใบเท่านั้น โดยพืชในหลอดที่ 3 และหลอดที่ 5 มีการตัดใบออกและเคลือบวาสลินที่รอยตัดทุกรอย แต่พืชในหลอดที่ 6 เคลือบรอยตัดของลำต้นที่อยู่ใต้น้ำ บันทึกผลการทดลองโดยวัดระดับน้ำที่เปลี่ยนแปลงหลังการทดลอง



3.1 ผลการทดลองควรเป็นอย่างไร เพราะเหตุใด

3.2 เพราะเหตุใดจึงต้องทำการทดลองในหลอดที่ 1 และหลอดที่ 2

3.3 ถ้าจะใช้การทดลองในลักษณะนี้ตรวจสอบว่าแสงมีผลต่อการคายน้ำหรือไม่ จะดัดแปลงการทดลองนี้อย่างไร

4. จงอธิบายว่าเหตุใดจึงใช้ชุดการทดลองที่ 1 และ 2 ในรูปนี้ตรวจสอบสมมติฐานว่าการคายน้ำทำให้เกิดการลำเลียงในต้นพืช



5. จากการทดลองวัดอัตราการคายน้ำกับกิ่งชบา 4 กิ่ง โดยให้แต่ละกิ่งมีจำนวนใบเท่ากันและมีพื้นที่รวมของผิวใบเท่ากัน โดยทำการทดลองดังนี้

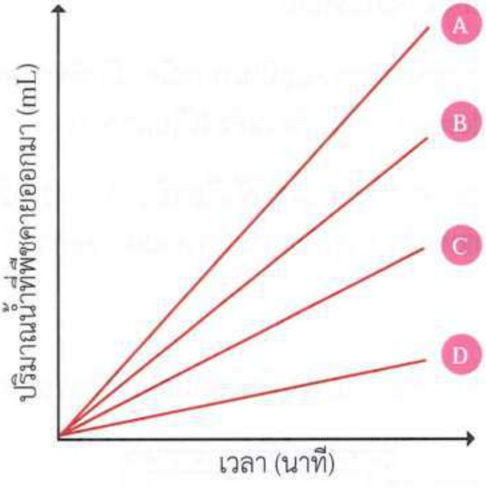
กิ่งที่ 1 ไม่ทาวาสลิน

กิ่งที่ 2 ทาวาสลินที่ผิวใบด้านบนและผิวใบด้านล่างของทุกใบ

กิ่งที่ 3 ทาวาสลินที่ผิวใบด้านบนทุกใบ

กิ่งที่ 4 ทาวาสลินที่ผิวใบด้านล่างทุกใบ

เมื่อนำแต่ละกิ่งมาทำการทดลองวัดอัตราการคายน้ำ พบว่าได้ผลดังกราฟ



การคายน้ำของกิ่งที่ 1-4 เทียบได้กับเส้นกราฟใด

	กิ่งที่ 1	กิ่งที่ 2	กิ่งที่ 3	กิ่งที่ 4
ก.	A	D	B	C
ข.	A	D	C	B
ค.	D	A	B	C
ง.	D	A	C	B

6. จงใส่ธาตุอาหาร Fe N Mg P และ K ที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชกับบทบาทหน้าที่ โดยนำสัญลักษณ์ธาตุเติมในช่องว่างหน้าข้อที่มีความสัมพันธ์กันมากที่สุด

.......6.1 ธาตุโลหะที่เป็นองค์ประกอบของคลอโรฟิลล์

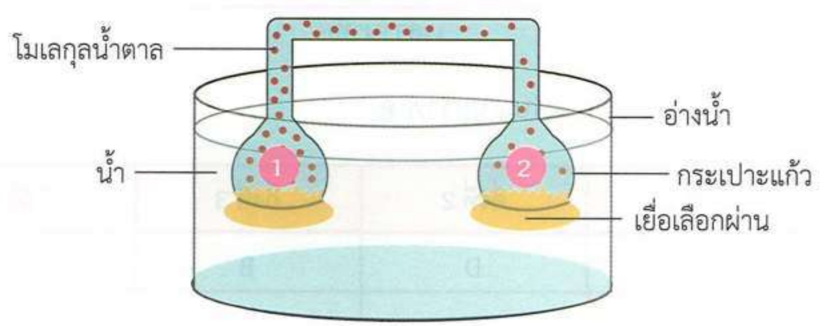
.......6.2 มีบทบาทสำคัญในการควบคุมแรงดันเต่งของเซลล์ และความเต่งของเซลล์คุมที่มีผลทำให้เกิดการเปิดปิดของรูปากใบ

.......6.3 เป็นองค์ประกอบของ RNA DNA และสารพลังงานสูง (ATP) แต่ไม่เป็นองค์ประกอบของคลอโรฟิลล์

.......6.4 เป็นองค์ประกอบของกรดแอมิโนทุกชนิด เมื่อพืชขาดทำให้มีอาการใบเหลือง เรียกว่า chlorosis โดยจะเริ่มเหลืองที่ใบแก่ก่อน

.......6.5 เป็นส่วนประกอบของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนในกระบวนการหายใจ การสังเคราะห์ด้วยแสง และการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์

7. จากรูปการทดลองเรื่องการลำเลียงอาหารในโฟลเอ็ม ให้นักเรียนตอบคำถามต่อไปนี้



7.1 วาดทิศทางการเคลื่อนที่ของสารละลายและทิศทางการเคลื่อนที่สุทธิของน้ำ ในชุดการทดลอง พร้อมอธิบายว่าเพราะเหตุใดจึงใช้การทดลองนี้ตรวจสอบเรื่องการลำเลียงอาหารในโฟลเอ็ม

7.2 เมื่อเวลาผ่านไป การเคลื่อนที่ของของเหลวในชุดการทดลองนี้จะเป็นอย่างไร เพราะเหตุใด

7.3 เพราะเหตุใดการลำเลียงอาหารในโฟลเอ็มของพืชจึงเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง

บทที่ 11 | การสังเคราะห์ด้วยแสง



ipst.me/8864

พืชสามารถสร้างอาหารขึ้นเองได้จากแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และแสง แตกต่างจากสัตว์ที่จำเป็นต้องกินอาหารซึ่งจะผ่านกระบวนการย่อยอาหารและดูดซึมสารอาหารที่ได้เข้าสู่เซลล์เพื่อใช้ในการเจริญเติบโตและการดำรงชีวิต โดยอาหารที่พืชสร้างนี้มีความสำคัญอย่างมากต่อสัตว์และสิ่งมีชีวิตอื่นที่ไม่สามารถสร้างอาหารได้เอง นอกจากนี้ในการสร้างอาหารของพืชยังได้ผลผลิตเป็นแก๊สออกซิเจนซึ่งนับเป็นอีกปัจจัยที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตอีกหลากหลายชนิดบนโลก **พืชใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และแสงสร้างอาหารได้อย่างไร**

คำถามสำคัญ

1. การสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชมีกระบวนการอย่างไร
2. พืชทุกชนิดมีกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงที่เหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร
3. ปัจจัยใดบ้างที่ส่งผลต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช และการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยเหล่านั้นมีผลอย่างไรต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. สืบค้นข้อมูล วิเคราะห์ และสรุปการศึกษาที่ได้จากการทดลองของนักวิทยาศาสตร์ในอดีตเกี่ยวกับกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง
2. อธิบายความสำคัญของแสง สารสี และความสามารถในการดูดกลืนแสงของสารสีในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง
3. อธิบาย และสรุปขั้นตอนที่สำคัญของกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช C_3
4. สืบค้นข้อมูล อธิบาย และสรุปการเกิดโฟโตเรสไพเรชัน
5. สืบค้นข้อมูล และอธิบายกลไกในการเพิ่มความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ของพืช C_4 และพืช CAM
6. วิเคราะห์ อธิบายและเปรียบเทียบกลไกการตรึงคาร์บอนในพืช C_3 พืช C_4 และพืช CAM
7. สืบค้นข้อมูล และระบุปัจจัยบางประการที่มีผลต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช
8. ทดลอง อภิปราย และสรุปเกี่ยวกับปัจจัยบางประการที่มีผลต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช
9. วิเคราะห์ และอธิบายเกี่ยวกับความเข้มแสง ความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และอุณหภูมิที่มีผลต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช

ตรวจสอบความรู้ก่อนเรียน

ให้นักเรียนใส่เครื่องหมายถูก (√) หรือผิด (×) หน้าข้อความตามความเข้าใจของนักเรียน

1. แสง CO_2 และน้ำ เป็นปัจจัยที่พืชต้องการเพื่อใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสง ได้ผลผลิตเป็นน้ำตาลและ O_2
2. กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงเป็นกระบวนการที่สามารถนำพลังงานแสงมาเปลี่ยนเป็นพลังงานเคมีเพื่อใช้ในการดำรงชีวิตของพืช
3. การสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชเกิดขึ้นในบริเวณที่มีคลอโรฟิลล์ ซึ่งสามารถพบได้ในบริเวณที่มีสีเขียวของพืช
4. บริเวณใบพืชเป็นส่วนที่มีการสังเคราะห์ด้วยแสงเกิดขึ้นมาก เนื่องจากในชั้นเอพิเดอร์มิสและมีโซฟิลล์ของใบมีเซลล์ที่มีคลอโรพลาสต์จำนวนมาก
5. บริเวณลำต้นอาจพบเซลล์สเกลอเรงคิมาซึ่งมีคลอโรพลาสต์ จึงทำให้เกิดกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงได้เช่นกัน
6. การเปิดและปิดของรูปากใบเกี่ยวข้องกับการแลกเปลี่ยนแก๊สระหว่างพืชกับอากาศ ซึ่งจะส่งผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช
7. CO_2 ส่วนใหญ่ที่ใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงได้รับจากอากาศโดยผ่านทางรูปากใบ และบางส่วนได้จากการหายใจระดับเซลล์
8. เมื่อน้ำเข้าสู่รากพืชจะมีการลำเลียงน้ำผ่านไซเล็มเพื่อใช้ในกระบวนการต่าง ๆ รวมทั้งกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง และลำเลียงธาตุอาหารผ่านทางโฟลเอ็ม
9. พืชลำเลียงอาหารไปยังส่วนต่าง ๆ โดยอาหารของพืช ได้แก่ ปุ๋ยและธาตุอาหารที่พืชดูดซึมผ่านทางราก รวมทั้งน้ำตาลที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง
10. หากพืชขาดน้ำจะทำให้การสังเคราะห์ด้วยแสงลดลง

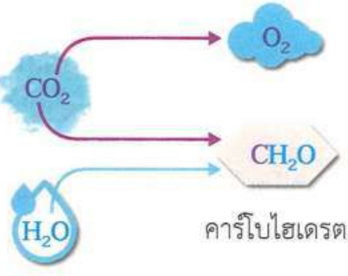
พืชสามารถสร้างอาหารได้เองจากการสังเคราะห์ด้วยแสง ซึ่งกระบวนการดังกล่าวนี้เป็นที่สนใจของนักวิทยาศาสตร์มาตั้งแต่อดีตว่าการสร้างอาหารของพืชนั้นเกิดขึ้นได้อย่างไร

11.1 การศึกษาที่เกี่ยวกับการสังเคราะห์ด้วยแสง

การศึกษาเกี่ยวกับการสังเคราะห์ด้วยแสงมีมานานหลายร้อยปีแล้ว ตั้งแต่กลางศตวรรษที่ 17 จนสรุปได้เป็นสมการเคมีของการสังเคราะห์ด้วยแสง ดังนี้

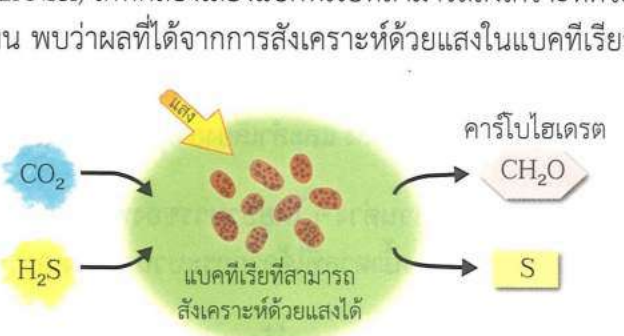
$$6CO_2 + 6H_2O \xrightarrow[\text{พืช}]{\text{แสง}} C_6H_{12}O_6 + 6O_2$$

ภายหลังการเสนอสมการเคมีของการสังเคราะห์ด้วยแสง นักวิทยาศาสตร์เคยตั้งสมมติฐานว่า O_2 ที่เกิดขึ้นอาจมาจาก CO_2 ส่วนคาร์บอนน่าจะรวมตัวกับน้ำได้เป็นคาร์โบไฮเดรต ดังรูป 11.1



รูป 11.1 สมมติฐานหนึ่งซึ่งแสดงที่มาของแก๊สออกซิเจนที่เกิดขึ้นจากการสังเคราะห์ด้วยแสง

จนกระทั่งก่อนกลางศตวรรษที่ 20 ได้มีการพิสูจน์สมมติฐานข้างต้นว่าไม่ถูกต้อง เมื่อ คอร์เนเลียส แวน นีล (Cornelius van Niel) ได้ทดลองเลี้ยงแบคทีเรียที่สามารถสังเคราะห์ด้วยแสงโดยไม่ใช้น้ำแต่ใช้ไฮโดรเจนซัลไฟด์แทน พบว่าผลที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยแสงในแบคทีเรียจะมีซัลเฟอร์เกิดขึ้นแทน O_2 ดังรูป 11.2



รูป 11.2 การทดลองเลี้ยงแบคทีเรียที่สังเคราะห์ด้วยแสงโดยใช้ไฮโดรเจนซัลไฟด์แทนน้ำ

? สมมติฐานของการทดลองของแวน นีล น่าจะเป็นอย่างไร

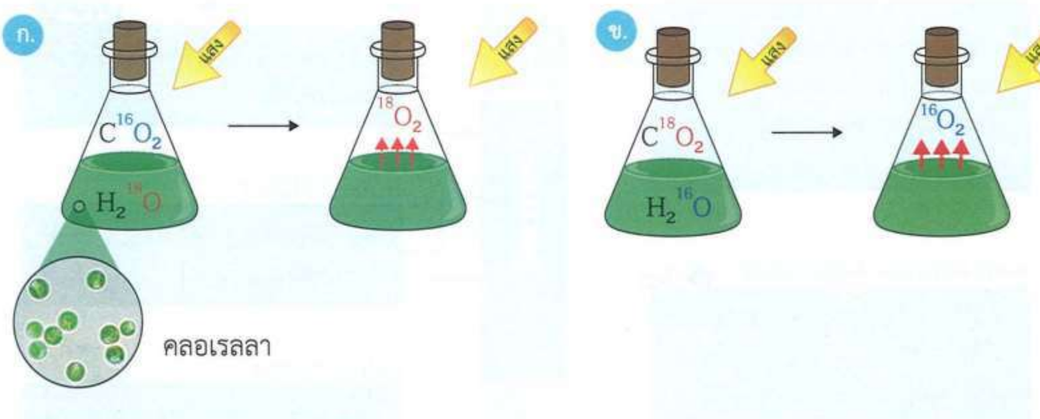
? ซัลเฟอร์ที่เกิดขึ้นในการทดลองของแวน นีล มาจากการสลายตัวของสารใด

? จากการทดลองของแวน นีล จะสรุปผลการทดลองได้ว่าอย่างไร

? จากการทดลองของแวน นีล สามารถนำมาเทียบเคียงกับการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชได้อย่างไร

สูตรโมเลกุลของไฮโดรเจนซัลไฟด์กับน้ำคล้ายกัน ดังนั้นแวน นีล จึงเสนอว่ากระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของแบคทีเรียน่าจะคล้ายกับพืช โดยซัลเฟอร์ที่เกิดขึ้นในแบคทีเรียนั้นมาจากไฮโดรเจนซัลไฟด์ ดังนั้น O_2 ที่เกิดขึ้นในพืชจึงน่าจะมาจากโมเลกุลของน้ำ

สมมติฐานของแวน นีล ได้รับการยืนยันในเวลาต่อมาโดยแซม รูเบน (Sam Ruben) และมาร์ติน คาเมน (Martin Kamen) ซึ่งยืนยันได้ว่า O_2 ที่เกิดขึ้นในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงมาจากน้ำ โดยทั้งสองคนได้ศึกษาการสังเคราะห์ด้วยแสงในคลอเรลลา (*Chlorella* sp.) ซึ่งเป็นสาหร่ายสีเขียว โดยได้ทดลองใช้ไอโซโทปของออกซิเจน (^{18}O และ ^{16}O) ในการระบุที่มาของ O_2 ว่ามาจากอะตอมของสารตั้งต้นใด ดังรูป 11.3



รูป 11.3 การทดลองของรูเบนและคาเมน
ก. เมื่อให้ออกซิเจนในโมเลกุลน้ำเป็น ^{18}O และออกซิเจนในโมเลกุลคาร์บอนไดออกไซด์เป็น ^{16}O
ข. เมื่อให้ออกซิเจนในโมเลกุลน้ำเป็น ^{16}O และออกซิเจนในโมเลกุลคาร์บอนไดออกไซด์เป็น ^{18}O

? จากการทดลองของรูเบนและคาเมน จะสรุปผลการทดลองได้ว่าอย่างไร

? การทดลองของรูเบนและคาเมน สนับสนุนแนวคิดของแวน นีล ได้อย่างไร

ความรู้เพิ่มเติม

การศึกษาเกี่ยวกับการสังเคราะห์ด้วยแสงมีนักวิทยาศาสตร์จำนวนมากที่สนใจค้นคว้าจนทำให้เข้าใจกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงมากขึ้นเป็นลำดับ ดังตัวอย่าง

ศตวรรษที่ 17

Jean van Helmont

พบว่าน้ำหนักของต้นหลิวที่เพิ่มขึ้นมาจากน้ำ ไม่ได้มาจากดิน

Joseph Priestley

พบว่ากิ่งของต้นมิ้นท์สามารถเปลี่ยนอากาศเสียซึ่งเกิดจากการเผาไหม้ให้กลับมาเป็นอากาศดีได้

ศตวรรษที่ 18

Jan Ingenhousz

พบว่าส่วนที่มีสีเขียวของพืชจะปลดปล่อย O_2 เมื่อพืชได้รับแสง

Jean Senebier

แสดงให้เห็นว่าพืชจะรับ CO_2 จากอากาศเข้าไป และปล่อย O_2 ออกมา โดยมีปัจจัยแสงมาเกี่ยวข้อง

ศตวรรษที่ 19

Nicolas de Soussure

พบว่าน้ำหนักของพืชที่เพิ่มขึ้น ส่วนหนึ่งได้รับจาก CO_2 และอีกส่วนหนึ่งน่าจะมาจากน้ำ โดยการทดลองของเดอ โซซูร์นั้น นำไปสู่ภาพรวมของสมการแสดงการสังเคราะห์ด้วยแสงที่สมบูรณ์

Joseph Pelletier and Joseph Caventou

ตั้งชื่อสารสีเขียวที่พบในพืชว่าคลอโรฟิลล์

Robert Mayer

พบว่าพืชเปลี่ยนรูปพลังงานแสงให้อยู่ในรูปพลังงานเคมี

Jean Baptiste Bossingault

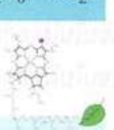
วัดปริมาณของ CO_2 และ O_2 ในการสังเคราะห์ด้วยแสง ซึ่งนำไปสู่การดุลสมการเคมีของการสังเคราะห์ด้วยแสง ดังนี้

$$6CO_2 + 6H_2O \xrightarrow{\text{แสง}} C_6H_{12}O_6 + 6O_2$$

Julius Sachs

แสดงให้เห็นว่าพืชสร้างคาร์โบไฮเดรตโดยเกี่ยวข้องกับแสงและคลอโรฟิลล์

ศตวรรษที่ 20



Richard Willstatter

ศึกษาโครงสร้างของคลอโรฟิลล์

Ernst Münch

เสนอแบบจำลองการลำเลียงอาหารที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชไปยังส่วนต่าง ๆ

ศตวรรษที่ 20

Cornelius van Niel
ศึกษาการสังเคราะห์ด้วยแสงในแบคทีเรียที่สังเคราะห์ด้วยแสงได้

Sam Ruben and Martin Kamen
แสดงให้เห็นว่า O_2 ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงมาจากน้ำ

Albert Frenkel
พบว่าเมื่อให้แสงแก่เยื่อที่สกัดได้จากแบคทีเรียที่สังเคราะห์ด้วยแสงได้จะมีการสร้าง ATP ขึ้น

Daniel Arnon
แสดงให้เห็นว่า ATP และ NADPH เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ด้วยแสง

Robin Hill
สกัดแยกคลอโรพลาสต์ได้สำเร็จและศึกษาการแตกตัวของน้ำในคลอโรพลาสต์ที่สกัดได้ รวมทั้งพบว่าในการสังเคราะห์ด้วยแสงเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาที่ให้และรับอิเล็กตรอน

Melvin Calvin
ศึกษาการตรึงคาร์บอนในสาหร่ายสีเขียว

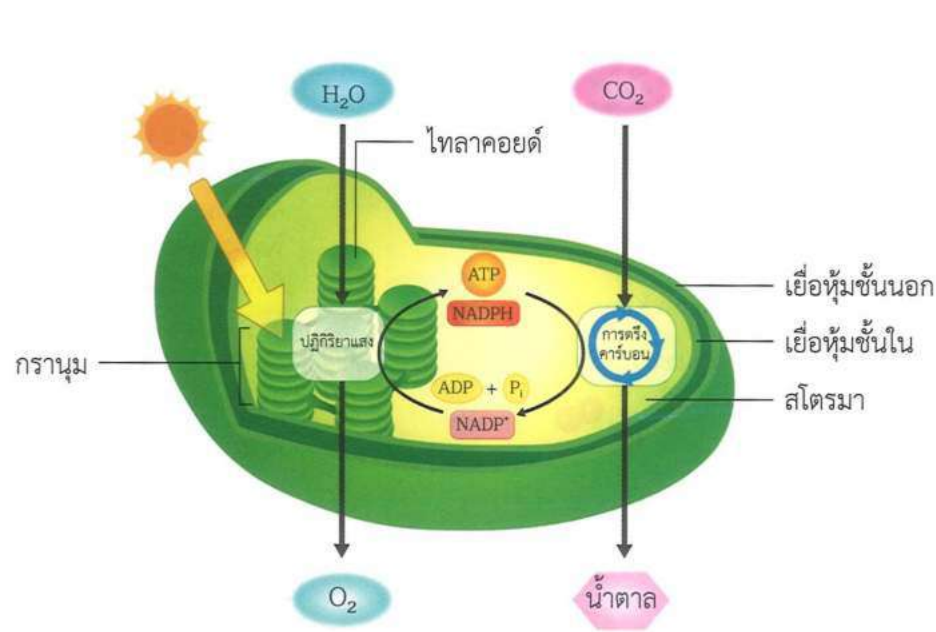
Manuel Losada , Achim Trebst and co-workers
ค้นพบเอนไซม์ที่ใช้ในการตรึงคาร์บอน

Robert Emerson and Eugene Rabinowitch
เสนอว่ามีระบบแสง 2 ระบบที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาแสง

Robin Hill and Fay Bendall
เสนอแบบจำลองแสดงการถ่ายทอดอิเล็กตรอนในปฏิกิริยาแสง

การศึกษาเกี่ยวกับการสังเคราะห์ด้วยแสงจนสรุปเป็นสมการเคมีของการสังเคราะห์ด้วยแสงนั้น สมการดังกล่าวเป็นเพียงสมการโดยรวม แต่ในความเป็นจริงแล้วกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงประกอบด้วยหลายปฏิกิริยา ในปัจจุบันได้ค้นพบรวมกันแล้วมากกว่า 50 ปฏิกิริยา ซึ่งเกิดขึ้นในคลอโรพลาสต์ โดยปฏิกิริยาต่าง ๆ เหล่านี้สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ขั้นตอน (รูป 11.4) ดังนี้

1. **ปฏิกิริยาแสง** (light reaction) จะสร้างสารพลังงานสูง คือ NADPH และ ATP ในภาวะที่มีแสงซึ่งเกิดขึ้นที่ไทลาคอยด์
2. **การตรึงคาร์บอน** (carbon fixation) หรือ**วัฏจักรคัลวิน** (Calvin cycle) เป็นขั้นตอนที่มีการสร้างน้ำตาลซึ่งเกิดขึ้นในสโตรมา โดยจะใช้ NADPH และ ATP ที่ได้จากปฏิกิริยาแสง



รูป 11.4 ภาพรวมของกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงซึ่งเกิดขึ้นในคลอโรพลาสต์

ความรู้เพิ่มเติม

ในอดีตคิดว่าการตรึงคาร์บอนเป็นปฏิกิริยาที่ไม่ใช้แสง (dark reaction) แต่ปัจจุบันพบว่าแสงมีบทบาทที่สำคัญ เนื่องจากเอนไซม์หลายชนิดที่ใช้ในการตรึงคาร์บอนต้องใช้แสงเพื่อกระตุ้นการทำงาน

11.2 กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช

จากการศึกษาของนักวิทยาศาสตร์จำนวนมากทำให้ในปัจจุบันทราบว่าการสังเคราะห์ด้วยแสงเป็นกระบวนการเดียวในธรรมชาติที่สามารถเปลี่ยนพลังงานแสงจากดวงอาทิตย์ให้อยู่ในรูปของพลังงานเคมีซึ่งอยู่ในโมเลกุลของสารอินทรีย์และเก็บสะสมในโครงสร้างต่าง ๆ ของพืช ซึ่งก่อนจะเรียนรู้เกี่ยวกับกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ควรทราบว่า**พลังงานแสงคืออะไร และพืชรับพลังงานแสงเพื่อใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงได้อย่างไร**

กิจกรรมเสนอแนะ : สารสีและการดูดกลืนแสงของสารสี

ipst.me/9195

จุดประสงค์

1. สกัดสารสีจากใบพืช และระบุสารสีที่สกัดได้
2. ทดสอบความสามารถในการดูดกลืนแสงของสารสี

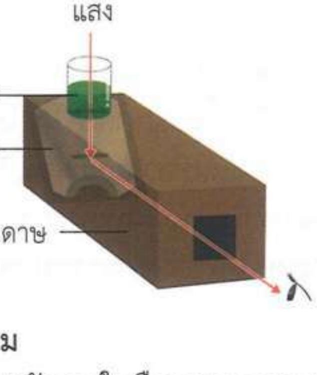
วัสดุและอุปกรณ์

1. ใบพืชชนิดต่าง ๆ เช่น ตำลึง คะน้า ผักบุ้ง
2. โกร่งบดหรือเครื่องปั่น
3. กระดาษกรองเบอร์ 1
4. เครื่องแก้วต่าง ๆ ได้แก่ หลอดทดลอง, บีกเกอร์ขนาด 50 mL, กระบอกตวง และกรวยแก้ว
5. สารเคมีต่าง ๆ ได้แก่ เอทิลแอลกอฮอล์ 95%, ปิโตรเลียมอีเทอร์ และอะซีโตน
6. กล่องดูดกลืนแสงอย่างง่าย (ศึกษาวิธีการทำได้จาก QR code)

วิธีการทำกิจกรรม

1. สกัดสารสีจากใบพืช โดยตัดใบพืช 10-15 ใบ เป็นชิ้นเล็ก ๆ บดในเอทิลแอลกอฮอล์ 95% ปริมาตร 20 mL โดยใช้โกร่งบดหรือเครื่องปั่น และนำไปกรองโดยใช้กระดาษกรอง
2. นำสารสกัดจากใบพืชมาทำการทดลองดังนี้

2.1 ทดสอบการดูดกลืนแสงของสารสี



2.2 แยกสารสีโดยใช้โครมาโทกราฟี



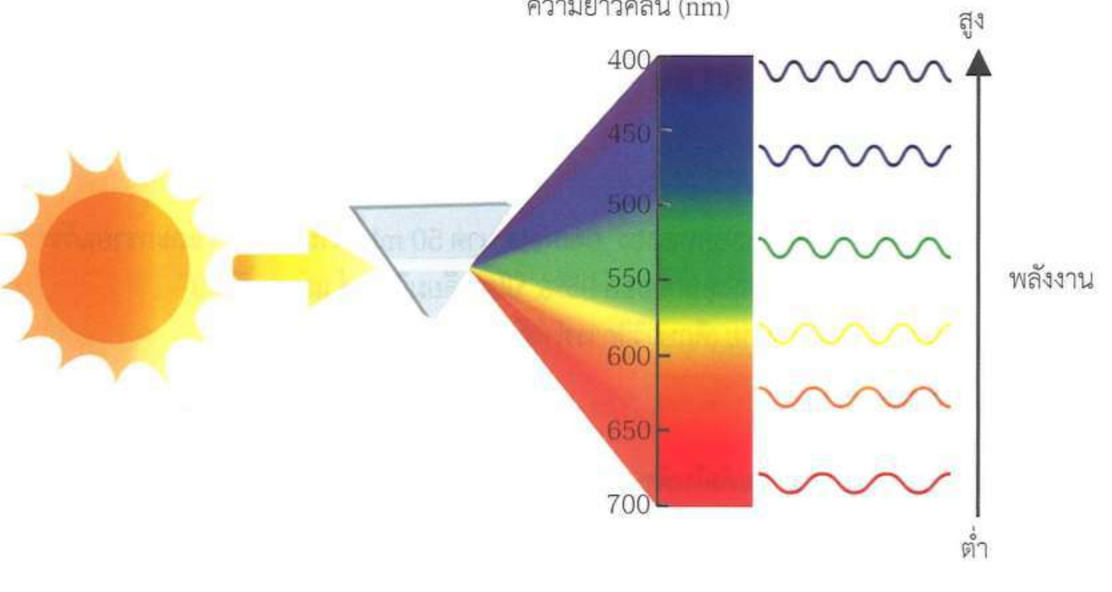
คำถามท้ายกิจกรรม

? เมื่อนำสารสกัดจากใบพืชมาทดสอบการดูดกลืนแสงด้วยอุปกรณ์ดังข้อ 2.1 ก่อนและหลังวางสารสกัดจากใบพืชจะเห็นแสงสีที่อยู่บนแผ่นซีดีแตกต่างกันอย่างไร เพราะเหตุใด

? เมื่อนำสารสกัดจากใบพืชมาแยกโดยโครมาโทกราฟีจะพบว่ามีสารสีชนิดใดบ้าง

11.2.1 พลังงานแสง

แสงเป็นรังสีในรูปของ**คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า** (electromagnetic wave) และมีสมบัติเป็น**อนุภาค** (particle) เรียกว่า **โฟตอน** (photon) โดยระดับพลังงานของโฟตอนจะแปรผกผันกับความยาวคลื่นของแสง ซึ่ง**แสงที่ตามนุษย์มองเห็นได้** (visible light) เป็นแสงที่มีความยาวคลื่นช่วง 400-700 นาโนเมตร ในสเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทั้งหมด ดังรูป 11.5



รูป 11.5 สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าช่วงที่ตามนุษย์มองเห็นได้

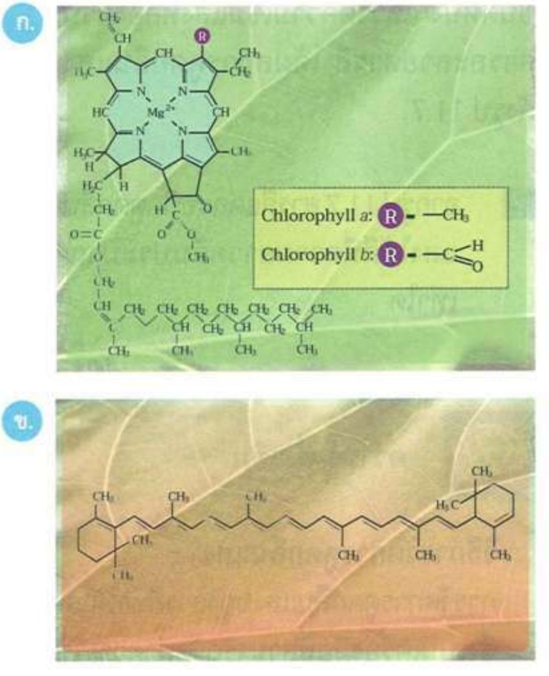
รังสีจากดวงอาทิตย์ประกอบด้วยโฟตอนที่มีความยาวคลื่นต่าง ๆ กัน ขณะที่โฟตอนเคลื่อนที่มายังโลก โฟตอนบางช่วงความยาวคลื่นจะถูกดูดซับไว้ในชั้นบรรยากาศ โดยโฟตอนที่มาถึงโลกนั้นจะอยู่ในช่วงรังสีอัลตราไวโอเลต รังสีอินฟราเรด รวมทั้งช่วงแสงที่ตามนุษย์มองเห็นได้ซึ่งประกอบไปด้วยแสงสีต่าง ๆ แสงในช่วงที่ตามนุษย์มองเห็นได้เป็นแสงที่พืชนำไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง โดยเฉพาะในช่วงแสงสีน้ำเงินและแสงสีแดง **เพราะเหตุใดพืชจึงสามารถนำพลังงานแสงในช่วงแสงสีน้ำเงินและแสงสีแดงไปใช้ได้มาก**

11.2.2 สารสี

พืชนำพลังงานแสงมาใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงได้โดยใช้**สารสี** (pigment) เป็นตัวรับพลังงานแสง สารสีที่พบในพืชมีหลายชนิด เช่น **คลอโรฟิลล์** (chlorophyll) พบในคลอโรพลาสต์ **แคโรทีนอยด์** (carotenoid) พบในคลอโรพลาสต์และโครโมพลาสต์

คลอโรฟิลล์ เป็นสารสีที่มีสีเขียว พบในพืช สาหร่าย และไซยาโนแบคทีเรีย จำแนกได้หลายชนิดโดยชนิดที่พบในพืชและสาหร่ายสีเขียว คือ คลอโรฟิลล์เอ และคลอโรฟิลล์บี คลอโรฟิลล์มีโครงสร้างดังรูป 11.6 ก. เป็นวงที่มี Mg^{2+} อยู่ตรงส่วนกลาง และมีส่วนที่เป็นสายยาวของไฮโดรคาร์บอนที่สามารถช่วยยึดโมเลกุลไว้ในบริเวณที่ไม่มีขั้วของเยื่อไทลาคอยด์ได้

แคโรทีนอยด์ เป็นสารสีที่มีสีเหลืองส้มจนถึงส้มแดง พบในสิ่งมีชีวิตทุกชนิดที่สังเคราะห์ด้วยแสงได้ จำแนกได้เป็น 2 ชนิด คือ **แคโรทีน** (carotene) และ**แซนโทฟิลล์** (xanthophyll) โดยโครงสร้างของแคโรทีนอยด์มีลักษณะเป็นสายยาวของไฮโดรคาร์บอนเชื่อมอยู่ระหว่างวงคาร์บอน ดังรูป 11.6 ข.



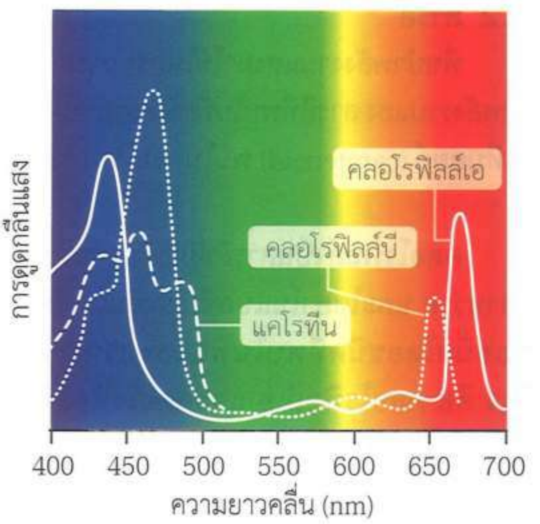
รูป 11.6 โครงสร้างของสารสีชนิดต่าง ๆ
ก. คลอโรฟิลล์ ข. แคโรทีนอยด์

ความรู้เพิ่มเติม

นอกจากคลอโรฟิลล์ และแคโรทีนอยด์แล้ว ในสิ่งมีชีวิตบางชนิดอาจพบสารสีชนิดอื่นอีก เช่น แบคทีริโอคลอโรฟิลล์ (bacteriochlorophyll) ซึ่งพบในกลุ่มแบคทีเรียที่สังเคราะห์ด้วยแสงได้ หรือ ไฟโคบิลิน (phycobilin) ซึ่งพบในสาหร่ายสีแดงและไซยาโนแบคทีเรีย

การดูดกลืนแสงของสารสี

ในการศึกษาความสามารถในการดูดกลืนแสงของสารสีชนิดต่าง ๆ โดยทดลองให้แสงที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ กับสารละลายสารสีแต่ละชนิดที่สกัดจากใบพืชชนิดหนึ่ง แล้ววัดความเข้มแสงที่ส่องผ่านสารละลายสารสี ได้ผลการดูดกลืนแสงดังรูป 11.7



รูป 11.7 กราฟเปรียบเทียบการดูดกลืนแสงของคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และแคโรทีน

? จากรูป 11.7 สารสีแต่ละชนิดดูดกลืนแสงได้ดีที่ความยาวคลื่นประมาณเท่าใด

ความรู้เพิ่มเติม

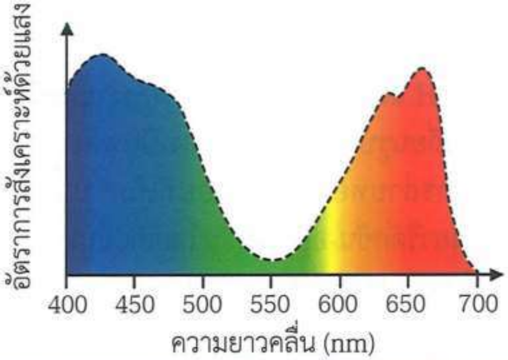
วิธีการวัดการดูดกลืนแสง

การวัดการดูดกลืนแสงของสารสีทำได้โดยใช้เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (spectrophotometer) ซึ่งเป็นเครื่องมือที่สามารถวัดค่าความเข้มแสงที่ทะลุผ่านหรือถูกดูดกลืนโดยสารสีได้ เมื่อสกัดสารสีใส่ในหลอดคิวเวตต์แล้วนำไปใส่ในเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ซึ่งมีแหล่งกำเนิดแสงอยู่ภายใน ค่าที่อ่านได้จากเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์จะเป็นค่าการดูดกลืนแสงของสารสีที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ



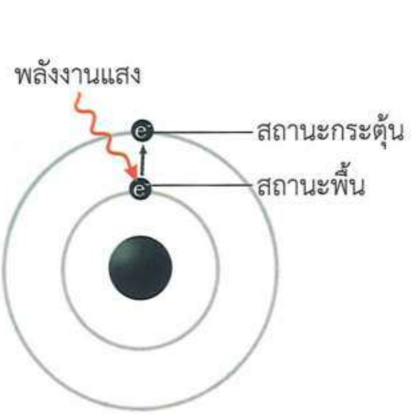
โดยทั่วไปสีของวัตถุที่ตามองเห็นมาจากแสงสีที่สะท้อนหรือส่องผ่านวัตถุมายังตาได้ แต่หากวัตถุนั้นดูดกลืนแสงสีใดสีหนึ่งไว้ แสงสีนั้นจะไม่มีการสะท้อนหรือส่องผ่านมายังตาได้ ซึ่งเมื่อพิจารณากราฟในรูป 11.7 จะพบว่าคลอโรฟิลล์ดูดกลืนแสงสีน้ำเงินและแสงสีแดงได้ดีที่สุด ในขณะที่ดูดกลืนแสงสีเขียวได้น้อย ดังนั้นการที่ตามนุษย์เห็นสีเขียวของใบไม้จึงมาจากการสะท้อนของแสงสีเขียวมาเข้าตามากกว่าแสงสีอื่น

หากวัดอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงเมื่อให้แสงที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ แก่พืช จะได้ผลดังรูป 11.8 โดยจากกราฟจะเห็นว่าอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชเกิดขึ้นได้มากเมื่อได้รับแสงสีน้ำเงินหรือแสงสีแดง ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับกราฟในรูป 11.7 จะพบว่ามีความสอดคล้องกับการดูดกลืนแสงของคลอโรฟิลล์ที่จะดูดกลืนแสงในช่วงแสงสีน้ำเงินและแสงสีแดงได้มากเช่นกัน



รูป 11.8 กราฟแสดงอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชเมื่อให้แสงที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ

โดยปกติอิเล็กตรอนในโมเลกุลสารสีจะเคลื่อนที่อยู่รอบนิวเคลียสที่ระดับ**สถานะพื้น** (ground state) เมื่อสารสีได้รับพลังงานแสง อิเล็กตรอนของสารสีจะถูกกระตุ้นให้เปลี่ยนไปอยู่ที่ระดับพลังงานสูงขึ้นซึ่งเป็น**สถานะกระตุ้น** (excited state) และอยู่ห่างจากนิวเคลียสมากขึ้น ดังรูป 11.9



รูป 11.9 การเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานของอิเล็กตรอนเมื่อได้รับพลังงานแสง

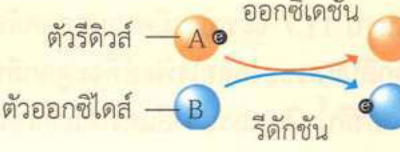
อิเล็กตรอนในสถานะกระตุ้นนี้ไม่เสถียร หากไม่มีตัวรับอิเล็กตรอน ในที่สุดอิเล็กตรอนจะกลับไปที่สถานะพื้นเช่นเดิมพร้อมทั้งคายพลังงานในรูปความร้อนหรือแสงซึ่งล้วนแต่ยังไม่เกิดการส่งต่อพลังงานเข้าสู่กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง แต่เมื่อมีตัวรับอิเล็กตรอนที่เหมาะสมจะทำให้เกิดการถ่ายทอดอิเล็กตรอนขึ้น ซึ่งนับเป็นจุดเริ่มของปฏิกิริยาแสงในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง

11.2.3 ปฏิกิริยาแสง

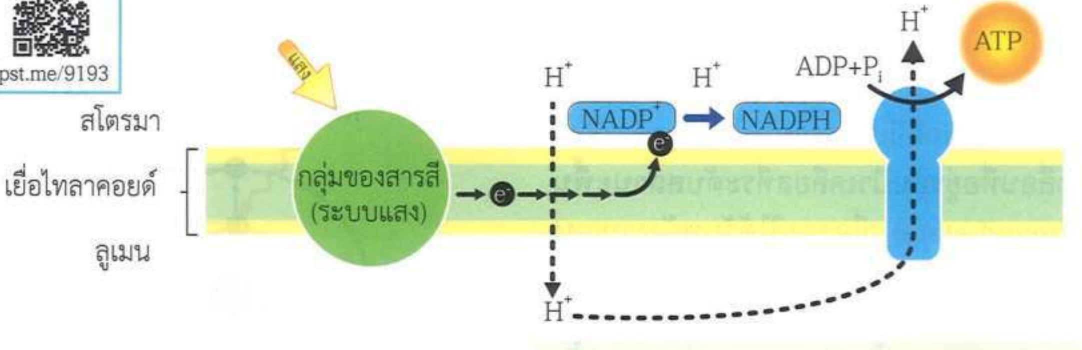
เมื่อสารสีได้รับพลังงานแสงและเกิดการถ่ายทอดอิเล็กตรอนขึ้นจะส่งอิเล็กตรอนไปยังตัวรับอิเล็กตรอนต่าง ๆ ต่อเนื่องกันจนถึง $NADP^+$ ซึ่งเป็นตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้ายและได้เป็น NADPH โดยในการถ่ายทอดอิเล็กตรอนนี้จะมีการสร้าง ATP เกิดขึ้นด้วย ซึ่งเห็นได้ว่าการสร้าง NADPH และ ATP ที่เป็นสารพลังงานสูงนี้เป็นการเปลี่ยนรูปจากพลังงานแสงเป็นพลังงานเคมี โดยการถ่ายทอดอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นนั้นเป็นปฏิกิริยารีดักชัน-ออกซิเดชัน โดยเกิดขึ้นที่บริเวณเยื่อไทลาคอยด์ ซึ่งมีสารสีฝังตัวอยู่รวมกันเป็นกลุ่มเรียกว่า **ระบบแสง** (photosystem; PS) เพื่อช่วยกันรับพลังงานแสง ดังรูป 11.10

เชื่อมโยงกับเคมี

ปฏิกิริยาการให้และรับอิเล็กตรอนเรียกว่าปฏิกิริยารีดอกซ์ ซึ่งมาจากรีดักชัน-ออกซิเดชัน โดยรีดักชันเป็นปฏิกิริยาที่มีการรับอิเล็กตรอนของสาร เรียกตัวรับอิเล็กตรอนว่าตัวออกซิไดส์ (oxidizing agent) และออกซิเดชันเป็นปฏิกิริยาที่มีการให้อิเล็กตรอนของสาร เรียกตัวให้อิเล็กตรอนว่าตัวรีดิวส์ (reducing agent)



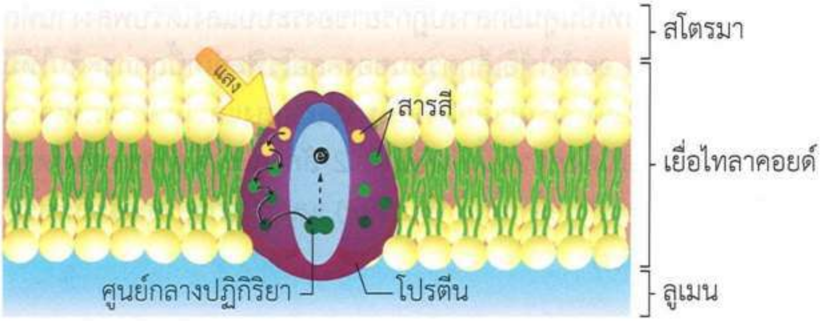
ipst.me/9193



รูป 11.10 การถ่ายทอดอิเล็กตรอนในปฏิกิริยาแสง

ระบบแสงในพืช

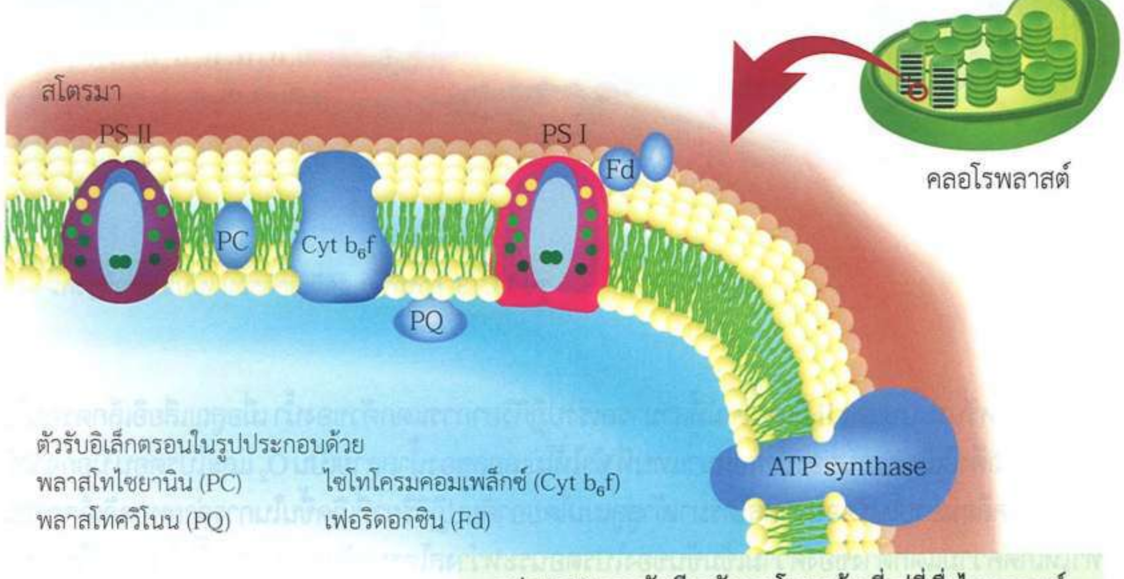
สารสีต่าง ๆ ในพืชทั้งคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี แคโรทีน และแซนโทฟิลล์จะอยู่รวมกันเป็นกลุ่มหลายร้อยโมเลกุลโดยฝังตัวอยู่ในโปรตีนที่เยื่อไทลาคอยด์ เพื่อทำหน้าที่ดูดกลืนพลังงานแสง เมื่อได้รับพลังงานแสงสารสีเหล่านี้จะทำหน้าที่รับส่งพลังงานกันไปเป็นทอด ๆ โดยยังไม่เกิดการถ่ายทอดอิเล็กตรอน โครงสร้างของโปรตีนและกลุ่มของสารสีที่ทำหน้าที่รับส่งพลังงานเหล่านี้เรียกว่า **แอนเทนนา** (antenna) โดยจะมีเฉพาะคลอโรฟิลล์เอโมเลกุลพิเศษที่เป็น**ศูนย์กลางปฏิกิริยา** (reaction center) ของระบบแสงเท่านั้นที่เมื่อได้รับพลังงานที่ถ่ายทอดมาจะสามารถปลดปล่อยอิเล็กตรอนให้หลุดออกไปจากโมเลกุลไปยังตัวรับอิเล็กตรอนได้ ดังรูป 11.11 โดยระบบแสงประกอบด้วยหลายแอนเทนนาในการช่วยรับส่งพลังงาน และมีหลายศูนย์กลางปฏิกิริยา



รูป 11.11 ระบบแสงซึ่งแสดงเพียงหนึ่งแอนเทนนาและหนึ่งศูนย์กลางปฏิกิริยา

พืชมีระบบแสง 2 ระบบ คือ **ระบบแสง I** (photosystem I; PS I) และ**ระบบแสง II** (photosystem II; PS II) โดยศูนย์กลางปฏิกิริยาของระบบแสง I จะมีการถ่ายทอดอิเล็กตรอนเมื่อได้รับพลังงานแสงที่ความยาวคลื่นไม่เกิน 700 นาโนเมตร เรียกศูนย์กลางปฏิกิริยาของระบบแสง I ว่า P700 ส่วนศูนย์กลางปฏิกิริยาของระบบแสง II จะมีการถ่ายทอดอิเล็กตรอนเมื่อได้รับพลังงานแสงที่ความยาวคลื่นไม่เกิน 680 นาโนเมตร เรียกศูนย์กลางปฏิกิริยาของระบบแสง II ว่า P680

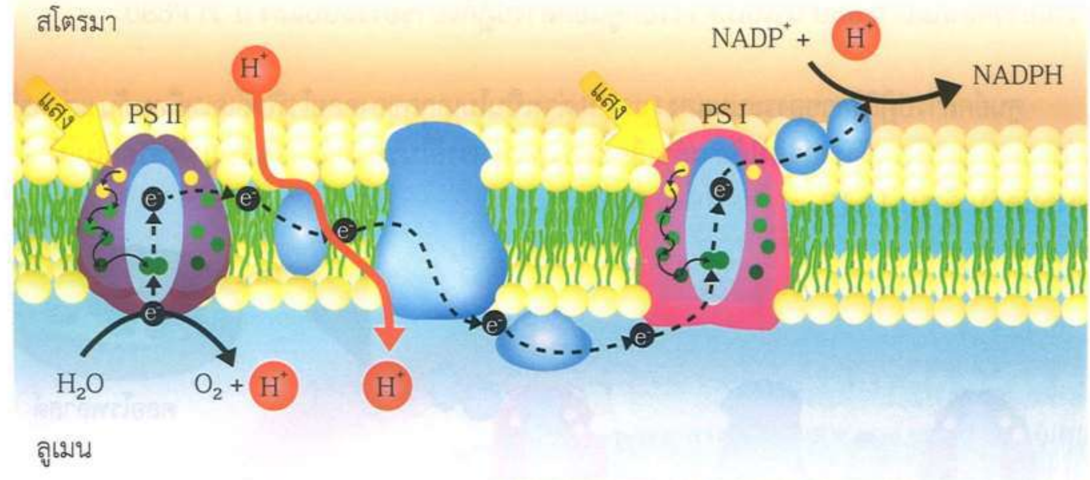
ศูนย์กลางปฏิกิริยาของระบบแสง I และ II ต่างเป็นโมเลกุลของคลอโรฟิลล์เอเหมือนกัน แต่การที่แต่ละระบบแสงรับพลังงานแสงได้ต่างกันเล็กน้อย เพราะสารสีในระบบแสง I และ II ฝังตัวอยู่ในโปรตีนต่างชนิดกัน ดังรูป 11.12



รูป 11.12 การจัดเรียงตัวของโครงสร้างที่อยู่ที่เยื่อไทลาคอยด์

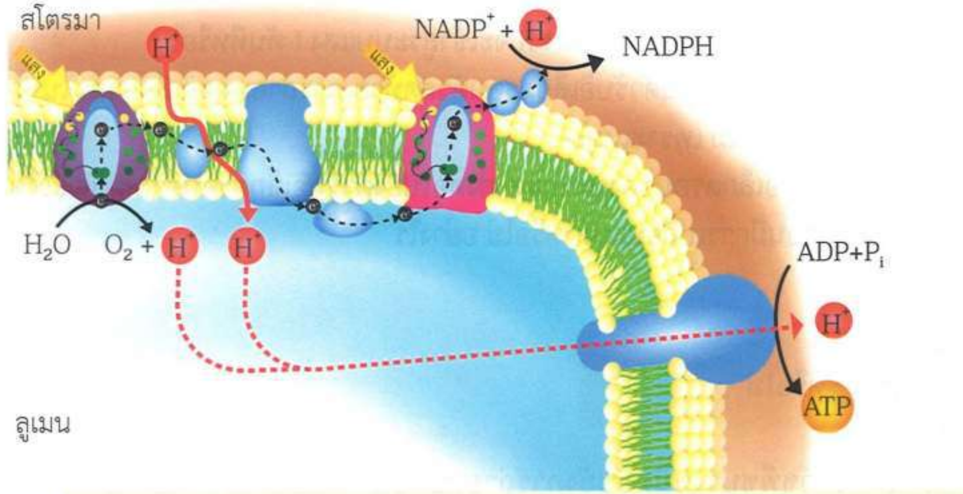
เมื่อคลอโรฟิลล์เอที่เป็นศูนย์กลางปฏิกิริยาของระบบแสงได้รับพลังงานที่ถ่ายทอดต่อ ๆ กันมาจากสารสีในแอนเทนนา จะทำให้อิเล็กตรอนของคลอโรฟิลล์เอนี้ถูกกระตุ้นให้มีพลังงานสูงขึ้นและถ่ายทอดอิเล็กตรอนนี้ไปยังตัวรับอิเล็กตรอนในระบบแสงและเกิดการส่งต่อกันไปเป็นทอด ๆ โดยการถ่ายทอดอิเล็กตรอนดังกล่าวนี้เกิดขึ้นได้ 2 ลักษณะ คือ **การถ่ายทอดอิเล็กตรอนแบบไม่เป็นวัฏจักร** (non-cyclic electron transfer) และ**การถ่ายทอดอิเล็กตรอนแบบเป็นวัฏจักร** (cyclic electron transfer)

การถ่ายทอดอิเล็กตรอนแบบไม่เป็นวัฏจักร เป็นการถ่ายทอดอิเล็กตรอนโดยศูนย์กลางปฏิกิริยาของระบบแสง II จะส่งอิเล็กตรอนผ่านตัวรับอิเล็กตรอนหลายชนิดซึ่งมีพลังงานต่ำลงเป็นลำดับไปยังศูนย์กลางปฏิกิริยาของระบบแสง I ซึ่งจะไปทดแทนอิเล็กตรอนที่ระบบแสง I สูญเสียไปให้กับตัวรับอิเล็กตรอนชนิดต่าง ๆ จนถึง $NADP^+$ ที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้ายเพื่อสร้างเป็น NADPH ดังรูป 11.13



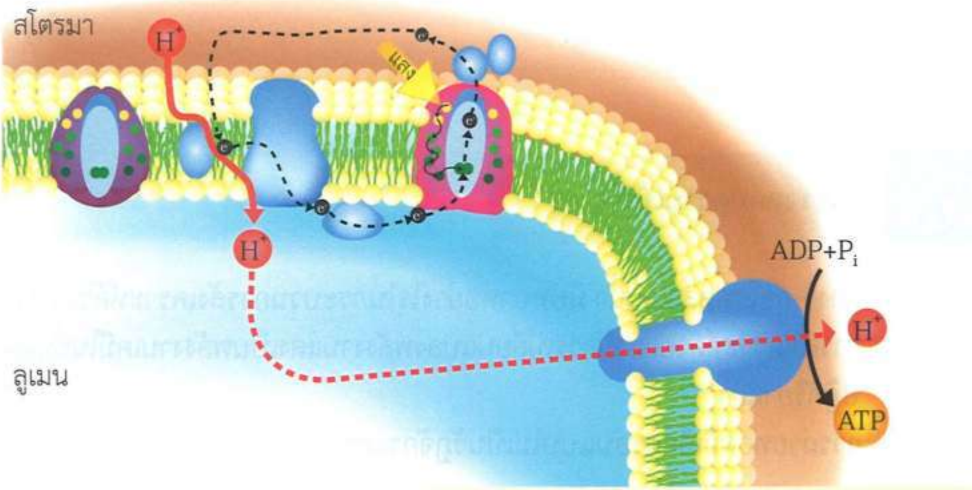
รูป 11.13 การถ่ายทอดอิเล็กตรอนแบบไม่เป็นวัฏจักร

สำหรับระบบแสง II มีเอนไซม์ที่สามารถเร่งปฏิกิริยาการแตกตัวของน้ำ เมื่อสูญเสียอิเล็กตรอนไปจึงสามารถดึงอิเล็กตรอนของน้ำออกมาแทนที่ ทำให้โมเลกุลของน้ำสลายเป็น O_2 และโปรตอน นอกจากนี้ยังมีการเคลื่อนย้ายโปรตอนจากสโตรมาเข้าสู่ลูเมนโดยอาศัยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในการถ่ายทอดอิเล็กตรอนทำให้เกิดความแตกต่างของความเข้มข้นของโปรตอนระหว่างสโตรมากับลูเมน จากนั้นโปรตอนในลูเมนจะถูกส่งไปยังสโตรมาผ่าน ATP synthase และเกิดการสร้าง ATP ขึ้น ดังรูป 11.14



รูป 11.14 การถ่ายทอดอิเล็กตรอนแบบไม่เป็นวัฏจักรที่เยื่อไทลาคอยด์และการสร้าง ATP

การถ่ายทอดอิเล็กตรอนแบบเป็นวัฏจักร เป็นการถ่ายทอดอิเล็กตรอนโดยศูนย์กลางปฏิกิริยาของระบบแสง I จะส่งอิเล็กตรอนผ่านตัวรับอิเล็กตรอนชนิดต่าง ๆ จนกลับมายังศูนย์กลางปฏิกิริยาของระบบแสง I อีกครั้งหนึ่ง โดยไม่ได้ส่งอิเล็กตรอนให้กับ $NADP^+$ จึงไม่มีการสร้าง NADPH ดังรูป 11.15



รูป 11.15 การถ่ายทอดอิเล็กตรอนแบบเป็นวัฏจักร

ในระหว่างการถ่ายทอดอิเล็กตรอนแบบเป็นวัฏจักรนี้จะมีการเคลื่อนย้ายโปรตอนจากสโตรมาเข้าสู่ลูเมน ส่งผลให้เกิดความแตกต่างของความเข้มข้นของโปรตอนระหว่างสโตรมาและลูเมน ซึ่งพลังงานจากความแตกต่างนี้นำไปใช้ในการสร้าง ATP โดย ATP synthase ได้เช่นเดียวกัน

? อิเล็กตรอนที่ออกจากระบบแสง II จะเข้าสู่ระบบแสง I ทันทีหรือไม่

? ถ้าไม่มี $NADP^+$ เป็นตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้าย การถ่ายทอดอิเล็กตรอนในปฏิกิริยาแสงจะเกิดขึ้นได้หรือไม่ เพราะเหตุใด

? พลังงานที่อิเล็กตรอนของระบบแสงส่งต่อไปยังตัวรับอิเล็กตรอนต่าง ๆ ขณะเกิดการถ่ายทอดอิเล็กตรอนมีการเปลี่ยนแปลงหรือไม่ อย่างไร

รู้หรือไม่

สารกำจัดวัชพืชบางชนิดยับยั้งการถ่ายทอดอิเล็กตรอนในปฏิกิริยาแสง ซึ่งส่งผลยับยั้งกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของวัชพืชเหล่านั้นในที่สุด อย่างไรก็ตามสารเหล่านี้สามารถทำลายการถ่ายทอดอิเล็กตรอนของพืชอื่น ๆ ได้เช่นกัน ดังนั้นจึงควรใช้สารกำจัดวัชพืชเหล่านี้โดยการฉีดพ่นเฉพาะบริเวณที่ต้องการเท่านั้น

นอกจากนี้สารกำจัดวัชพืชยังอาจเป็นอันตรายต่อมนุษย์ หากสูดดมหรือสัมผัสผิวหนังอาจทำให้ระคายเคือง หรืออาจรุนแรงถึงขั้นหมดสติและเสียชีวิตได้ จึงจำเป็นต้องใช้สารกำจัดวัชพืชอย่างถูกวิธี และมีความระมัดระวัง

ตรวจสอบความเข้าใจ

? แสง คลอโรฟิลล์ และน้ำ มีบทบาทอย่างไรในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง

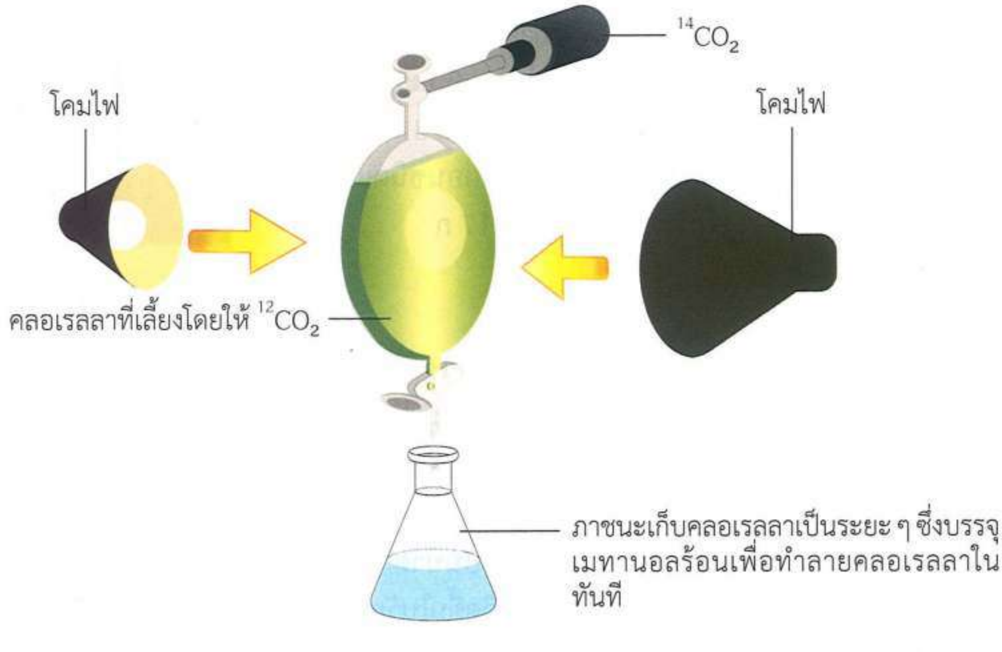
? การสังเคราะห์ด้วยแสงมีการเปลี่ยนแปลงพลังงานแสงเป็นพลังงานเคมีในขั้นตอนใดของปฏิกิริยาแสง

? การถ่ายทอดอิเล็กตรอนแบบไม่เป็นวัฏจักรและแบบเป็นวัฏจักรแตกต่างกันอย่างไร

จากที่ได้ศึกษาข้างต้นจะเห็นได้ว่าในปฏิกิริยาแสงจะมีการสร้าง ATP และ NADPH ซึ่งเป็นสารพลังงานสูงที่พืชจะนำใช้ในการตรึงคาร์บอนเพื่อสร้างน้ำตาลต่อไป **พืชนำ ATP และ NADPH ไปใช้ในการตรึงคาร์บอนอย่างไร**

11.2.4 การตรึงคาร์บอน

ช่วงกลางศตวรรษที่ 20 เมลวิน คัลวิน (Melvin Calvin) แอนดรู เบนสัน (Andrew Benson) และคณะวิจัยแห่งมหาวิทยาลัยแคลิฟอร์เนียได้ทำการทดลองดังรูป 11.16 โดยทดลองเลี้ยงคลอเรลลาในขวดแก้วโดยให้ $^{12}CO_2$ และแสงอย่างเพียงพอ เมื่อมีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงคงที่จึงให้ $^{14}CO_2$ เข้าไป จากนั้นเก็บคลอเรลลาเป็นระยะเพื่อตรวจสอบสารที่เกิดขึ้น ดังรูป



รูป 11.16 ชุดทดลองเพื่อศึกษาผลที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยแสง

จากผลการทดลองพบว่าคลอเรลลาที่เก็บเมื่อเวลาผ่านไป 30 วินาที จะตรวจพบ ^{14}C ในสารประกอบหลายชนิด แต่คลอเรลลาที่เก็บเมื่อเวลาผ่านไปเพียง 1 วินาที จะตรวจพบ ^{14}C เฉพาะในสารประกอบที่มีคาร์บอน 3 อะตอม คือ PGA (phosphoglycerate)

คัลวินและคณะจึงสันนิษฐานว่ามีสารประกอบที่มีคาร์บอน 2 อะตอมที่จะรวมกับ CO_2 ได้เป็น PGA แต่จากการทดลองไม่พบสารประกอบที่มีคาร์บอน 2 อะตอม แต่พบสารประกอบที่มีคาร์บอน 5 อะตอม คือ RuBP (ribulose 1,5-bisphosphate) ซึ่งเมื่อรวมกับ CO_2 จะได้เป็นสารประกอบใหม่ที่มีคาร์บอน 6 อะตอมที่ไม่เสถียรและสลายเป็น PGA 2 โมเลกุล

นอกจากนี้คัลวินและคณะยังพบว่าปฏิกิริยาเหล่านี้เกิดขึ้นหลายขั้นตอนต่อเนื่องเป็นวัฏจักรเรียกว่า วัฏจักรคัลวิน ซึ่งแบ่งได้เป็น 3 ขั้นตอนคือ **คาร์บอกซิเลชัน** (carboxylation) **รีดักชัน** (reduction) และ**รีเจเนอเรชัน** (regeneration)

คาร์บอกซิเลชัน

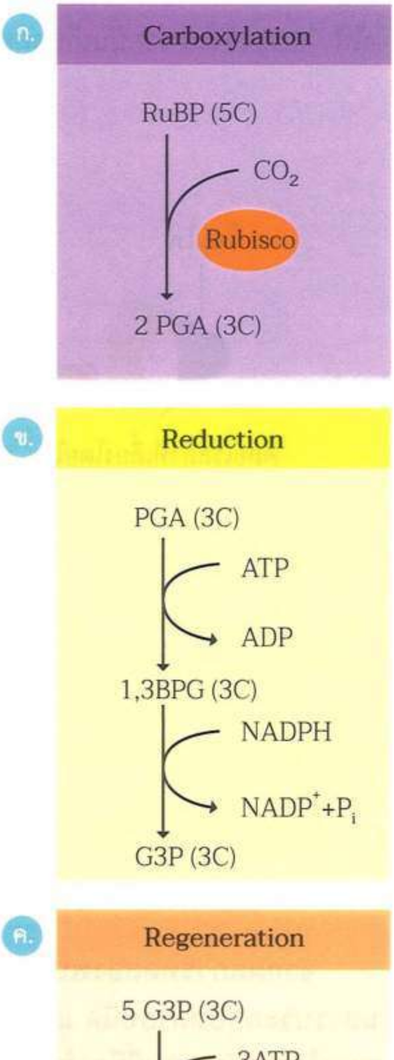
เป็นขั้นตอนที่ CO_2 เข้าสู่วัฏจักรและทำปฏิกิริยากับ RuBP ซึ่งมีคาร์บอน 5 อะตอม โดยมีเอนไซม์รูบิสโก (ribulose 1,5- bisphosphate carboxylase oxygenase; Rubisco) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ได้เป็นสารประกอบที่มีคาร์บอน 6 อะตอมซึ่งเป็นสารที่ไม่เสถียรจะสลายเป็น PGA ซึ่งมีคาร์บอน 3 อะตอม จำนวน 2 โมเลกุล โดยเป็นสารประกอบคาร์บอนชนิดแรกที่เกิดขึ้นและเสถียรในวัฏจักรคัลวิน ดังรูป 11.17 ก

รีดักชัน

ในขั้นตอนนี้จะมีการใช้ ATP และ NADPH ที่ได้จากปฏิกิริยาแสง โดยแต่ละโมเลกุลของ PGA จะรับหมู่ฟอสเฟตจาก ATP กลายเป็น 1,3BPG (1,3-bisphosphoglycerate) จากนั้นจะถูกรีดิวส์โดยรับอิเล็กตรอนจาก NADPH ได้เป็น G3P (glyceraldehyde 3-phosphate) ซึ่งเป็นน้ำตาลที่มีคาร์บอน 3 อะตอม และเป็นน้ำตาลชนิดแรกที่เกิดขึ้นในวัฏจักรคัลวิน ดังรูป 11.17 ข

รีเจเนอเรชัน

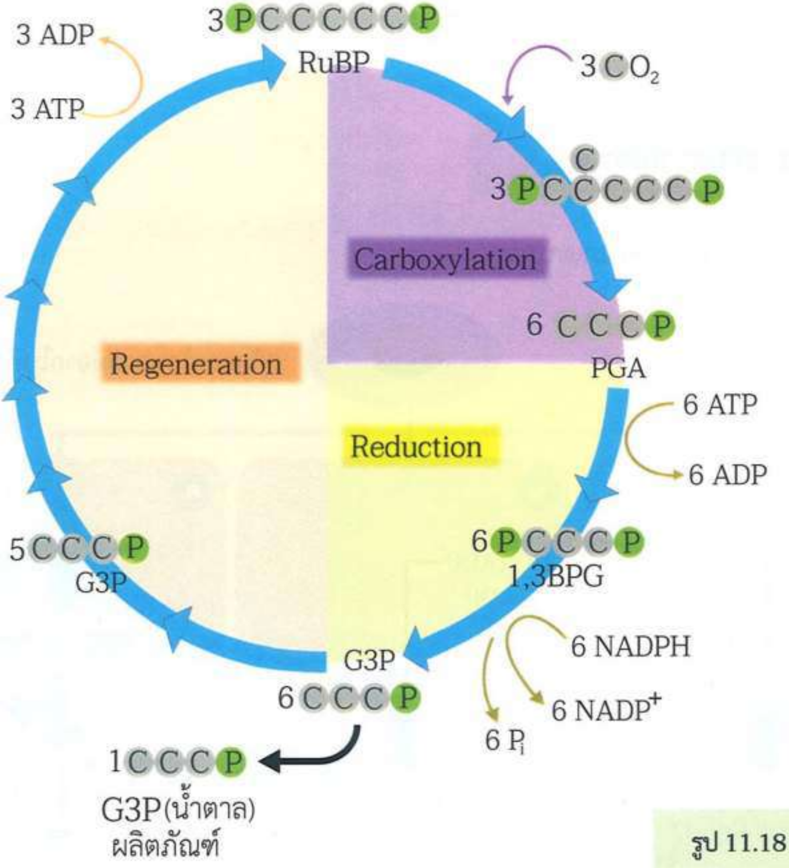
เป็นขั้นตอนที่จะสร้าง RuBP ขึ้นใหม่ ซึ่งต้องใช้ ATP ที่ได้จากปฏิกิริยาแสง โดยในการเกิดวัฏจักรคัลวิน 1 รอบ ต้องการ RuBP 3 โมเลกุลเพื่อทำปฏิกิริยาตรึง CO_2 3 โมเลกุล ซึ่งจะได้ PGA จำนวน 6 โมเลกุล เมื่อผ่านขั้นตอนรีดักชัน จะได้ G3P จำนวน 6 โมเลกุล โดย G3P จำนวน 5 โมเลกุลจะถูกนำไปใช้สร้าง RuBP ได้ 3 โมเลกุลกลับคืนสู่วัฏจักรคัลวิน ดังรูป 11.17 ค และเหลือ G3P จำนวน 1 โมเลกุลที่จะออกจากวัฏจักรและถูกนำไปสร้างเป็นน้ำตาลที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่ขึ้นหรือสารประกอบอินทรีย์อื่น ๆ ต่อไป



รูป 11.17 ปฏิกิริยาในวัฏจักรคัลวิน

เมื่อทั้ง 3 ขั้นตอนเกิดต่อเนื่องกันจะได้เป็นวัฏจักรดังรูป 11.18

ipst.me/9194



รูป 11.18 วัฏจักรคัลวิน

? เมื่อสิ้นสุดกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงจะเกิดผลิตภัณฑ์อะไรบ้าง

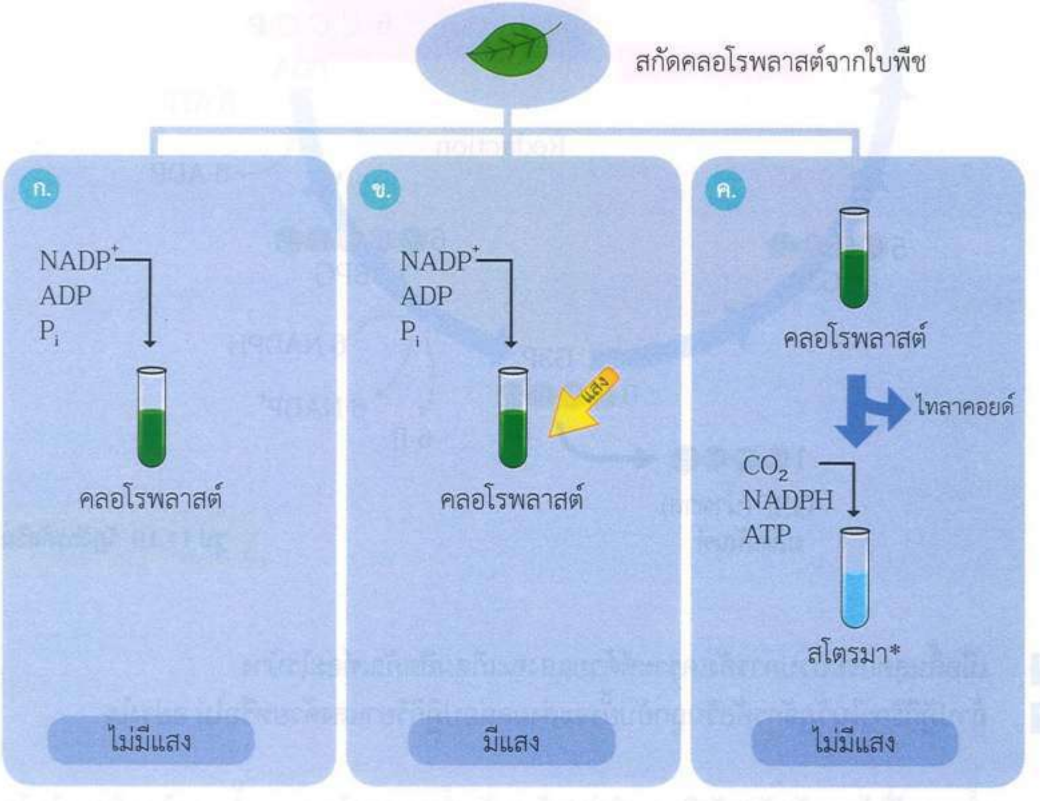
? ถ้าปฏิกิริยาในวัฏจักรคัลวินถูกยับยั้งจะส่งผลต่อปฏิกิริยาแสงด้วยหรือไม่ อย่างไร

น้ำตาลที่ได้จากวัฏจักรคัลวินจะนำไปสร้างเป็นน้ำตาลกลูโคสและน้ำตาลไดแซ็กคาไรด์ เช่น ซูโครส เพื่อลำเลียงไปสู่ส่วนต่าง ๆ ที่พืชต้องการใช้ต่อไป หรืออาจจะเก็บสะสมไว้ในรูปของเม็ดแป้งในคลอโรพลาสต์ หรือนำไปใช้ในกระบวนการอื่น ๆ ภายในเซลล์ รวมทั้งใช้ในการสร้างสารประกอบ เช่น โปรตีน ลิพิด กรดนิวคลิอิก วิตามิน คลอโรฟิลล์ ซึ่งเป็นสารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชที่พบในพืชทุกชนิด นอกจากนี้ในพืชบางชนิดยังนำไปใช้สร้างสารประกอบที่อาจไม่ได้มีประโยชน์โดยตรงต่อการเจริญเติบโตของพืช เช่น น้ำยางพารา สารคาเฟอีนในกาแฟ น้ำมันหอมระเหยในยูคาลิปตัส ซึ่งสารเหล่านี้สามารถช่วยป้องกันอันตรายจากศัตรู หรือช่วยในการแพร่กระจายพันธุ์ของพืชได้ดีขึ้น

มนุษย์นำสารอินทรีย์ที่พืชสร้างขึ้นเหล่านี้มาใช้ประโยชน์มากมายทั้งเพื่อการบริโภค และใช้ในเชิงอุตสาหกรรม เช่น การนำเครื่องเทศมาปรุงแต่งรสอาหาร การสกัดสารจากพืชสมุนไพรมาผลิตยา การนำน้ำยางพารามาใช้ทำผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เป็นต้น

ตรวจสอบความเข้าใจ

ทำการทดลองดังแสดงในแผนภาพ



* มีเอนไซม์ในวัฏจักรคัลวินที่ได้รับการกระตุ้นแล้ว

? ระบุผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นในการทดลอง ก. ข. และ ค.

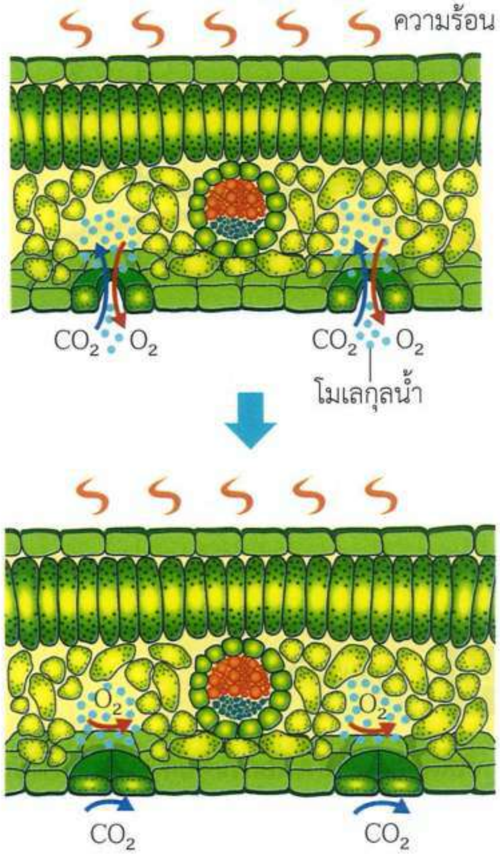
? จากการทดลองข้างต้น สามารถสรุปเกี่ยวกับกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงได้อย่างไร

11.3 โฟโตเรสไพเรชัน

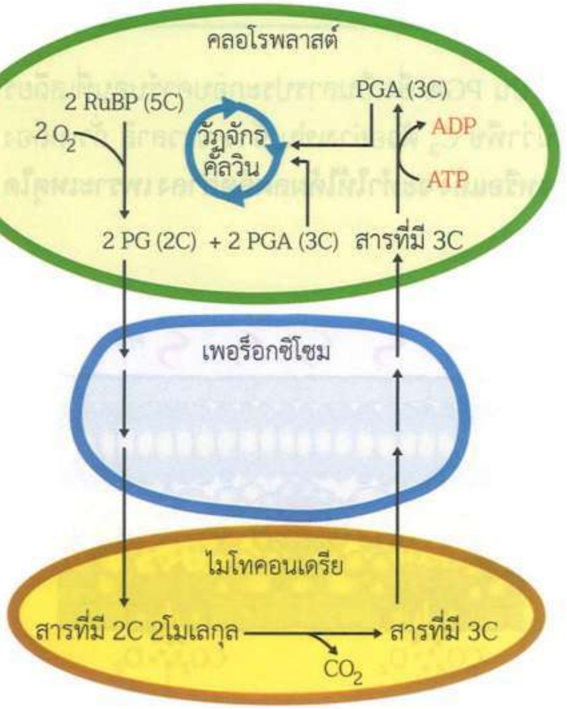
พืชโดยทั่วไปตรึง CO_2 เข้าสู่วัฏจักรคัลวินได้เป็น PGA ซึ่งเป็นสารประกอบคาร์บอนที่เสถียรชนิดแรกที่มีคาร์บอน 3 อะตอม จึงเรียกพืชกลุ่มนี้ว่าพืช C_3 ตัวอย่างเช่น ข้าว ข้าวสาลี ถั่วเหลือง ซึ่งพบว่า**หากพืชกลุ่มนี้อยู่ในสภาพแวดล้อมที่ร้อนหรือแล้ง จะทำให้ได้ผลผลิตต่ำลง เพราะเหตุใดจึงเป็นเช่นนั้น**

เมื่อพืชอยู่ในสภาพแวดล้อมที่ร้อนหรือแล้งจะมีการตอบสนองต่อภาวะดังกล่าวโดยรูปากใบจะแคบลงหรือปิดรูปากใบเพื่อลดการสูญเสียน้ำ เมื่อรูปากใบปิด CO_2 จะไม่สามารถเข้าสู่ใบได้ ทำให้ปริมาณ CO_2 ภายในเซลล์ลดต่ำลง พืชจึงสร้างน้ำตาลจากวัฏจักรคัลวินได้น้อยลง ในขณะเดียวกัน O_2 ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาแสงไม่สามารถลำเลียงออกจากใบผ่านรูปากใบได้ จึงมีการสะสมของ O_2 ภายในเซลล์มากขึ้น ดังรูป 11.19

รูบิสโกมีบริเวณเร่งซึ่งสามารถจับได้ทั้ง CO_2 และ O_2 เมื่อมีการสะสมของ O_2 มากขึ้น จึงทำให้ O_2 มีโอกาสจับกับรูบิสโกได้มากขึ้นและทำปฏิกิริยากับ RuBP แทน CO_2 จากเหตุการณ์ดังกล่าวทำให้เกิดกระบวนการที่เรียกว่า การหายใจเชิงแสง หรือ**โฟโตเรสไพเรชัน** (photorespiration)



รูป 11.19 การปิดปากใบเพื่อลดการสูญเสียน้ำในสภาพแวดล้อมที่ร้อนหรือแล้ง



รูป 11.20 การเกิดโฟโตเรสไพเรชัน

เมื่อ O_2 รวมตัวกับ RuBP จะเกิด PGA 1 โมเลกุล และ PG (phosphoglycolate) 1 โมเลกุล ซึ่งเป็นสารประกอบที่มีคาร์บอน 2 อะตอม โดย PGA ที่เกิดขึ้นจะเข้าสู่ขั้นตอนรีดักชันในวัฏจักรคัลวิน ส่วน PG ที่เกิดขึ้นจะถูกเปลี่ยนแปลงและลำเลียงออกจากคลอโรพลาสต์ไปยังเพอร์อกซิโซมและไมโทคอนเดรีย ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาอีกหลายขั้นตอนและเกิดเป็นสารตัวกลางชนิดต่าง ๆ

ในไมโทคอนเดรียสารตัวกลางที่มีคาร์บอน 2 อะตอม จำนวน 2 โมเลกุล จะรวมตัวกันได้เป็นสารตัวกลางที่มีคาร์บอน 3 อะตอม จำนวน 1 โมเลกุล และ CO_2 จำนวน 1 โมเลกุล ซึ่งสารตัวกลางที่มีคาร์บอน 3 อะตอมนั้นจะถูกนำกลับเข้าสู่คลอโรพลาสต์และเปลี่ยนเป็น PGA ได้ในที่สุด และในขั้นตอนดังกล่าวนี้ต้องใช้พลังงานจาก ATP ดังรูป 11.20 จะเห็นว่า PGA ที่ได้จากโฟโตเรสไพเรชันจะน้อยกว่าเมื่อเทียบกับการที่ RuBP ตรึง CO_2

ความรู้เพิ่มเติม

รูบิสโกต้องใช้แสงเพื่อกระตุ้นการทำงาน ดังนั้นโฟโตเรสไพเรชันจึงเกิดขึ้นในภาวะที่มีแสง โดยในอัตราส่วนที่ความเข้มข้นของ CO_2 และ O_2 เท่ากัน รูบิสโกของพืชสามารถตรึง CO_2 ได้เร็วกว่า O_2 80 เท่า แต่ในธรรมชาติที่อุณหภูมิ 25 °C จะมีปริมาณ CO_2 ที่ละลายในน้ำน้อยกว่า O_2 ประมาณ 24 เท่า ที่ความเข้มข้นนี้รูบิสโกจะตรึง CO_2 ได้เร็วกว่า O_2 ประมาณ 3 เท่า

จะเห็นว่าโฟโตเรสไพเรชันเป็นกระบวนการที่คล้ายกับการหายใจระดับเซลล์คือ มีการสลายสารอินทรีย์และปล่อย CO_2 ออกมา โดยมีการใช้ O_2 แต่การหายใจระดับเซลล์จะเป็นการสลายสารอินทรีย์เพื่อสร้าง ATP ในขณะที่โฟโตเรสไพเรชันจะมีการใช้พลังงานจาก ATP

? ถ้าพืชเกิดโฟโตเรสไพเรชันมากจะเกิดผลอย่างไร

? โฟโตเรสไพเรชันเหมือนหรือแตกต่างจากการหายใจระดับเซลล์อย่างไร ในด้านการใช้ O_2 การสลายสารอินทรีย์ การใช้พลังงาน และความต้องการแสงเพื่อดำเนินกิจกรรม

นักวิทยาศาสตร์คิดว่าโฟโตเรสไพเรชันทำให้พืชสร้างน้ำตาลจากวัฏจักรคัลวินได้น้อยลง และสูญเสียพลังงานจาก ATP แต่ปัจจุบันมีการทดลองที่ทำให้นักวิทยาศาสตร์เชื่อว่าโฟโตเรสไพเรชันจำเป็นต่อพืช โดยเมื่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาระหว่างวัฏจักรคัลวินกับปฏิกิริยาแสงไม่สมดุลกัน จะทำให้ปริมาณ $NADP^+$ และ ADP มีจำกัด ส่งผลให้การถ่ายทอดอิเล็กตรอนในปฏิกิริยาแสงเกิดได้ไม่ต่อเนื่องจนทำให้เกิดอนุมูลอิสระที่เป็นอันตรายต่อเซลล์ ซึ่งการเกิดโฟโตเรสไพเรชันจะทำให้มีการใช้ ATP และได้ ADP เพิ่มขึ้นนอกเหนือจาก ADP ที่เกิดขึ้นจากวัฏจักรคัลวิน ทำให้การถ่ายทอดอิเล็กตรอนในปฏิกิริยาแสงเกิดได้อย่างต่อเนื่อง

ตรวจสอบความเข้าใจ

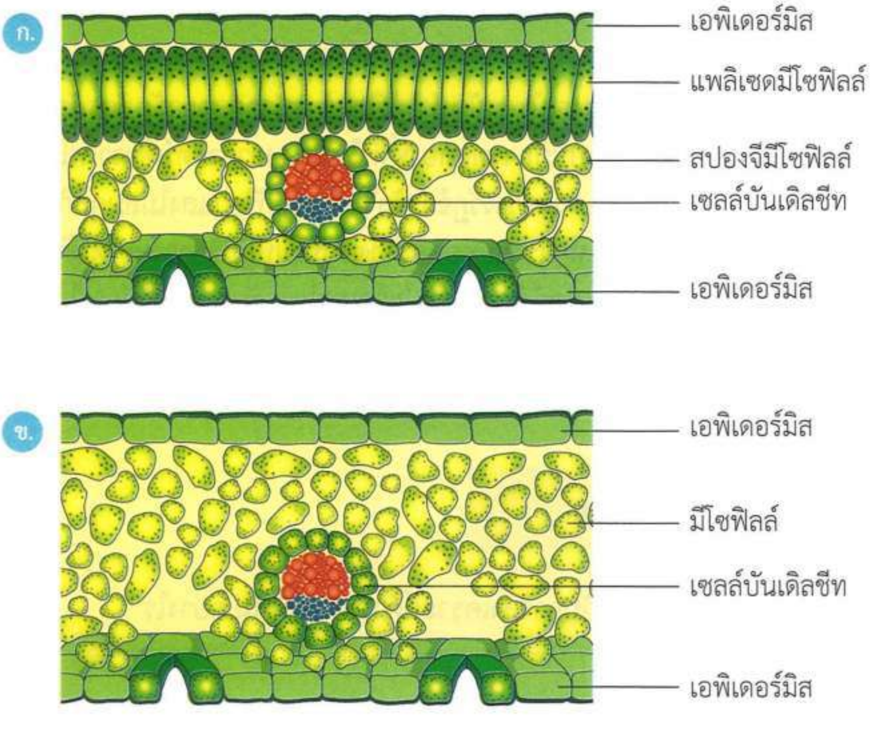
? โฟโตเรสไพเรชันสัมพันธ์กับการสังเคราะห์ด้วยแสงหรือไม่ อย่างไร

11.4 การเพิ่มความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์

พืชบางชนิดที่อยู่ในสภาพแวดล้อมที่แห้งแล้งจะมีใบที่มีการลดรูปให้มีขนาดเล็กลงเพื่อลดการสูญเสียน้ำ ซึ่งเป็นวิวัฒนาการของพืชที่มีการปรับตัวทางกายภาพ ในทางเมแทบอลิซึมพืชก็มีการปรับตัวต่อสภาพแวดล้อมที่ร้อนหรือแห้งแล้งเพื่อคงประสิทธิภาพในการตรึง CO_2 ไว้เช่นกัน โดยพบว่ามีพืชบางชนิดซึ่งอยู่ในสภาพแวดล้อมที่ร้อนหรือแห้งแล้งแต่ไม่เกิดโฟโตเรสไพเรชันหรือเกิดในอัตราที่น้อยมาก เนื่องจากพืชเหล่านั้นมีกลไกในการเพิ่มความเข้มข้นของ CO_2 ซึ่งทำให้อัตราส่วนของ CO_2 ต่อ O_2 เพิ่มสูงขึ้น และส่งผลให้รูบิสโกสามารถตรึง CO_2 ได้เร็วกว่า O_2 มากหรืออาจไม่มีการตรึง O_2 เกิดขึ้น กลไกในการเพิ่มความเข้มข้นของ CO_2 ดังกล่าวนี้สามารถพบได้ในพืช C_4 และพืช CAM

11.4.1 การตรึงคาร์บอนในพืช C_4

พืชบางชนิดที่มักพบในเขตร้อน เช่น ข้าวโพด ข้าวฟ่าง อ้อย หญ้าแพรก บานไม่รู้โรย จะตรึงคาร์บอนได้สารประกอบคาร์บอนชนิดแรกที่เสถียรซึ่งมีคาร์บอน 4 อะตอม จึงเรียกพืชในกลุ่มนี้ว่า พืช C_4 โดยเมื่อศึกษาโครงสร้างภายในของใบพืช C_3 และพืช C_4 จะพบว่ามีลักษณะที่แตกต่างกัน ดังรูป 11.21



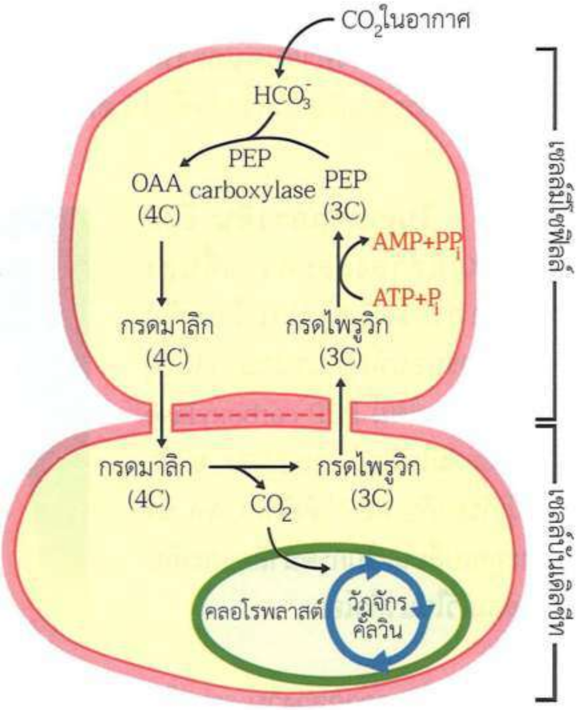
รูป 11.21 โครงสร้างภายในของใบพืชตัดตามขวาง
ก. โครงสร้างภายในของใบพืช C_3 ข. โครงสร้างภายในของใบพืช C_4

จะเห็นว่าใบพืช C_3 มีเซลล์ในมีโซฟิลล์ 2 ชนิด คือ แพลิเซดมีโซฟิลล์และสปองจีมีโซฟิลล์ โดยพืช C_3 อาจมีหรือไม่มีเซลล์บันเดิลชีทก็ได้ และมักไม่พบคลอโรพลาสต์ในเซลล์บันเดิลชีทเมื่อสังเกตด้วยกล้องจุลทรรศน์ใช้แสงเชิงประกอบ ส่วนใบพืช C_4 พบว่ามีโซฟิลล์ประกอบด้วยเซลล์ที่มีลักษณะคล้ายกัน และเห็นคลอโรพลาสต์ในเซลล์บันเดิลชีทได้ชัดเจน **ลักษณะโครงสร้างที่แตกต่างกันระหว่างใบพืช C_3 และพืช C_4 นี้ เกี่ยวข้องกับการตรึงคาร์บอนของพืชหรือไม่ อย่างไร**

พืช C_4 มีการสังเคราะห์ด้วยแสงที่ประกอบด้วยปฏิกิริยาแสงและการตรึงคาร์บอนเช่นเดียวกับพืช C_3 โดยพบว่าปฏิกิริยาแสงในพืช C_3 และพืช C_4 นั้นไม่แตกต่างกัน แต่การตรึงคาร์บอนของพืช C_4 มีกลไกที่แตกต่างจากพืช C_3 โดยพืช C_4 จะมีการตรึงคาร์บอน 2 ครั้ง โดยครั้งแรกจะเป็นการตรึงคาร์บอนในรูปของไฮโดรเจนคาร์บอเนตไอออน (HCO_3^-) ส่วนครั้งที่สองจะเป็นการตรึงคาร์บอนในรูปของ CO_2 ซึ่งการตรึงแต่ละครั้งจะเกิดขึ้นที่เซลล์ต่างชนิดกัน ดังรูป 11.22

การตรึงคาร์บอนครั้งที่หนึ่ง เกิดขึ้นที่ไซโทพลาซึมของเซลล์มีโซฟิลล์ โดยจะตรึง HCO_3^- ด้วย PEP (phosphoenolpyruvate) ซึ่งเป็นสารที่มีคาร์บอน 3 อะตอม โดยมีเอนไซม์ PEP carboxylase เร่งการเกิดปฏิกิริยา ได้เป็น OAA (oxaloacetic acid) ซึ่งเป็นสารที่มีคาร์บอน 4 อะตอม จากนั้น OAA จะถูกเปลี่ยนเป็นสารอินทรีย์ที่มีคาร์บอน 4 อะตอม เช่น กรดมาลิก (malic acid) แล้วลำเลียงผ่านพลาสโมเดสมาตาไปยังเซลล์บันเดิลชีทที่อยู่ติดกัน

การตรึงคาร์บอนครั้งที่สอง เกิดขึ้นที่เซลล์บันเดิลชีท โดยกรดมาลิกที่ลำเลียงจากเซลล์มีโซฟิลล์มายังเซลล์บันเดิลชีทจะถูกสลายเป็นกรดไพรูวิก และ CO_2 โดย CO_2 นี้จะถูกนำเข้าสู่วัฏจักรคัลวินในคลอโรพลาสต์ของเซลล์บันเดิลชีท ส่วนกรดไพรูวิกจะถูกลำเลียงกลับไปยังเซลล์มีโซฟิลล์และเปลี่ยนกลับเป็น PEP โดยใช้พลังงานจาก ATP



รูป 11.22 การตรึงคาร์บอนในพืช C_4

กระบวนการดังกล่าวนี้ทำให้เซลล์บันเดิลชีทของพืช C_4 มีปริมาณ CO_2 สูงกว่า O_2 มาก ซึ่งในเซลล์บันเดิลชีทของพืช C_4 จะมีรูบิสโก ในขณะที่เซลล์มีโซฟิลล์ไม่มีเอนไซม์นี้ จึงทำให้รูบิสโกในพืช C_4 มีโอกาสน้อยมากที่จะทำปฏิกิริยากับ O_2 ทำให้เกิดโฟโตเรสไพเรชันน้อยหรือไม่เกิดขึ้น จึงช่วยป้องกันการสูญเสียคาร์บอนอะตอมที่เกิดจากโฟโตเรสไพเรชันได้

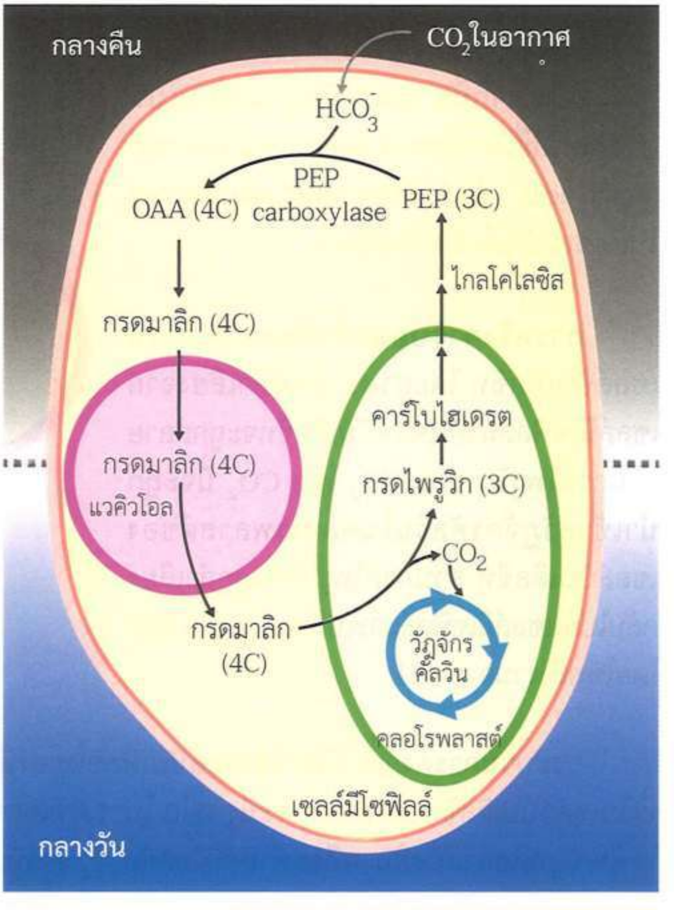
11.4.2 การตรึงคาร์บอนในพืช CAM

ในกลุ่มพืชอวบน้ำที่พบในสภาพแวดล้อมที่แห้งแล้งหรือในทะเลทราย ช่วงเวลากลางวันจะมีอุณหภูมิสูงและความชื้นต่ำซึ่งเป็นภาวะที่พืชสูญเสียน้ำได้ง่าย พืชในกลุ่มนี้จะลดรูปของใบให้มีขนาดเล็กลงเพื่อลดพื้นที่ของการเสียน้ำจากการคายน้ำ รวมทั้งปิดรูปากใบในเวลากลางวันเพื่อลดการคายน้ำ ส่งผลให้ CO_2 ไม่สามารถแพร่เข้ามาภายในเซลล์ได้ **การที่พืชเหล่านี้ปิดปากใบในเวลากลางวัน พืชจะมีกระบวนการตรึงคาร์บอนเกิดขึ้นได้อย่างไร**

การตรึงคาร์บอนของพืชกลุ่มนี้เกิดขึ้น 2 ครั้ง เช่นเดียวกับพืช C_4 แต่ต่างกันตรงที่การตรึงคาร์บอนทั้งสองครั้งเกิดขึ้นในเซลล์เดียวกัน แต่เกิดต่างช่วงเวลา ดังรูป 11.23

ในเวลากลางคืน ซึ่งมีอุณหภูมิต่ำลงและความชื้นสูง พืชกลุ่มนี้เปิดรูปากใบเพื่อตรึงคาร์บอนที่อยู่ในรูปของ HCO_3^- โดยใช้เอนไซม์ PEP carboxylase ในเซลล์มีโซฟิลล์ โดย HCO_3^- จะทำปฏิกิริยากับ PEP ได้เป็น OAA ซึ่งจะถูกเปลี่ยนเป็นกรดมาลิกและเก็บสะสมไว้ในแวคิวโอล

ในเวลากลางวัน รูปากใบจะปิดเพื่อลดการสูญเสียน้ำ พืชจะมีปฏิกิริยาแสง กรดมาลิกจะถูกลำเลียงออกจากแวคิวโอล สลายเป็นกรดไพรูวิกและ CO_2 โดย CO_2 จะถูกนำเข้าสู่วัฏจักรคัลวินในคลอโรพลาสต์ซึ่งอยู่ในเซลล์เดียวกัน ส่วนกรดไพรูวิกจะถูกเปลี่ยนกลับเป็น PEP อีกครั้ง



รูป 11.23 การตรึงคาร์บอนในพืช CAM

การที่รูปากใบปิดและเกิดการสลายของกรดมาลิกในเวลากลางวัน จึงไม่มีการปล่อย CO_2 ออกนอกเซลล์ ทำให้ความเข้มข้นของ CO_2 ภายในเซลล์สูง โฟโตเรสไพเรชันจึงเกิดขึ้นได้น้อยมาก กลไกดังกล่าวนี้พบครั้งแรกในพืชวงศ์กุหลาบหิน (Crassulaceae) จึงเรียกพืชกลุ่มนี้ว่าพืชซีเอเอ็ม (Crassulacean acid metabolism; CAM) แต่ในปัจจุบันพบในพืชวงศ์อื่นอีก เช่น กระบองเพชร กล้วยไม้ ศรนารายณ์ ลิ้นมังกร ว่านหางจระเข้ เป็นต้น นอกจากนี้ยังพบว่าพืชบางชนิด เช่น สับปะรด ซึ่งในภาวะปกติจะตรึงคาร์บอนแบบพืช C_3 แต่หากอยู่ในภาวะขาดน้ำ สับปะรดสามารถตรึงคาร์บอนแบบพืช CAM ได้เช่นกัน

เชื่อมโยงกับการลำเลียงของพืช

หากพิจารณาการดำรงชีวิตของพืช C_3 พืช C_4 และพืช CAM พืชกลุ่มใดน่าจะมีการสูญเสียน้ำจากการคายน้ำน้อยที่สุด เพราะเหตุใด

พืช CAM มีประสิทธิภาพในการใช้น้ำได้ดีที่สุด เพราะพืช CAM จะปิดรูปากใบในเวลากลางวันเพื่อลดการสูญเสียน้ำ โดยเมื่อเปรียบเทียบการสูญเสียน้ำของพืชต่อ 1 กรัมของ CO_2 ที่ได้รับ พืช CAM จะสูญเสียน้ำเพียง 50-100 กรัม ส่วนพืช C_4 จะสูญเสียน้ำ 250-300 กรัม และพืช C_3 จะสูญเสียน้ำ 400-500 กรัม จะเห็นได้ว่าพืช CAM จึงสามารถอยู่รอดได้ในสภาพแวดล้อมที่แห้งแล้ง

ตรวจสอบความเข้าใจ

? กลไกการตรึงคาร์บอนของพืช C_3 พืช C_4 และพืช CAM เหมือนหรือแตกต่างกัน อย่างไร โดยเปรียบเทียบในประเด็นต่าง ๆ ดังนี้

- จำนวนครั้งของการตรึงคาร์บอน
- ช่วงเวลาที่เกิดการตรึงคาร์บอนโดย PEP
- การเกิดวัฏจักรคัลวิน
- สารที่ใช้ตรึงคาร์บอน
- แหล่งสร้าง G3P

11.5 ปัจจัยบางประการที่มีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสง

ในปัจจุบันประชากรมนุษย์เพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็ว ความต้องการอาหารทั้งเนื้อสัตว์ พืช ตลอดจนการใช้ประโยชน์จากพืชให้ได้อย่างคุ้มค่ามากที่สุดจึงเป็นเรื่องที่จำเป็น ดังนั้นการศึกษาเกี่ยวกับปัจจัยที่มีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงจึงเป็นแนวทางหนึ่งที่จะสามารถนำความรู้มาประยุกต์กับการเกษตรเพื่อให้ได้ผลผลิตสูงตามที่ต้องการได้ดียิ่งขึ้น **สภาพแวดล้อมของพืชมีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงอย่างไร และปัจจัยใดบ้างที่ส่งผลต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช**

กิจกรรม 11.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช

จุดประสงค์

1. ระบุปัจจัยที่มีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช
2. ทดลองและสรุปความสัมพันธ์ระหว่างการสังเคราะห์ด้วยแสงกับปัจจัยต่าง ๆ

วัสดุและอุปกรณ์

1. ใบไม้ที่มีความหนาไม่มาก เช่น ใบอะเมซอน ใบชบา ใบพลู เป็นต้น
2. หลอดกาแฟที่แข็ง หรือที่เจาะกระดาษ
3. หลอดฉีดยา ขนาด 20 mL
4. นาฬิกาจับเวลา
5. เครื่องชั่ง
6. บีกเกอร์ ขนาด 250 mL
7. โคมไฟพร้อมขาตั้งยึด
8. แท่งแก้วคนสาร
9. ไม้บรรทัด
10. สารละลายโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต ($NaHCO_3$) ความเข้มข้น 1 %
11. น้ำยาล้างจาน
12. น้ำ

วิธีการทำกิจกรรม

1. หยดน้ำยาล้างจาน 2-3 หยดลงในบีกเกอร์ที่มีสารละลาย $NaHCO_3$ ความเข้มข้น 1% ปริมาตร 200 mL และคนเบา ๆ ระวังอย่าให้มีฟอง
2. นำใบไม้มาเจาะด้วยหลอดกาแฟที่แข็ง หรือที่เจาะกระดาษในตำแหน่งที่ไม่ตรงกับเส้นกลางใบ จนได้เป็นแผ่นกลมเล็ก ๆ จำนวน 50 แผ่น




3. นำหลอดฉีดยามา 2 หลอด ดึงก้านหลอดฉีดยาออก นำแผ่นใบไม้กลม ๆ ที่เจาะได้จำนวน 20 แผ่น ใส่ในหลอดฉีดยาแต่ละหลอด (หลอดที่ 1 และ หลอดที่ 2) โดยให้แผ่นใบอยู่ด้านปลายสุด หรือถ้าใช้หลอดกาแฟอาจใช้ปากเป่าแผ่นใบไม้ให้เข้าไปอยู่ด้านปลายสุด แล้วใส่ก้านหลอดฉีดยาทั้ง 2 อัน ให้เหมือนเดิม ระวังอย่าให้โดนแผ่นใบไม้




4. นำหลอดฉีดยาที่มีแผ่นใบไม้ทั้ง 2 หลอด มาดูดสารละลาย $NaHCO_3$ ปริมาตร 15 mL จากบีกเกอร์

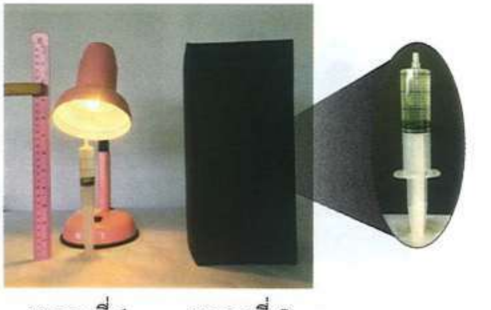



5. ไล่อากาศออกจากแผ่นใบไม้ที่อยู่ในหลอดฉีดยาแต่ละหลอดโดยหงายหลอดฉีดยาขึ้น ค่อย ๆ ไล่อากาศด้วยการดันก้านหลอดฉีดยาเข้าไปเบา ๆ ใช้นิ้วมือปิดที่ปลายหลอดฉีดยาให้แน่น จากนั้นดึงก้านหลอดฉีดยาแล้วดันกลับเข้าไปอีกครั้งเพื่อไล่อากาศออก จะสังเกตเห็นฟองอากาศถูกปล่อยออกจากแผ่นใบไม้ แผ่นใบไม้บางแผ่นจะเริ่มจมลง ทำซ้ำหลาย ๆ ครั้ง จนแผ่นใบไม้ทุกแผ่นจมลงสู่ด้านล่าง





6. นำหลอดฉีดยาหลอดที่ 1 ที่มีแผ่นใบไม้ที่จมอยู่ วางไว้ใต้โคมไฟโดยให้หลอดไฟห่างจากพื้น 20 cm และนำหลอดฉีดยาหลอดที่ 2 ที่มีแผ่นใบไม้ที่จมอยู่ วางไว้ในที่มืด สังเกตที่ผิวของแผ่นใบไม้ และบันทึกจำนวนแผ่นใบไม้ที่ลอยขึ้นมาในแต่ละหลอดทุก 1 นาที เป็นเวลา 10 นาที



หลอดที่ 1 หลอดที่ 2

คำถามท้ายกิจกรรม

- ? การใช้สารละลาย $NaHCO_3$ มีวัตถุประสงค์อะไร
- ? ผลการทดลองทั้ง 2 ชุด เหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร เพราะเหตุใด
- ? เพราะเหตุใดจึงต้องมีชุดการทดลองในที่มืด
- ? ถ้าต้องการศึกษาว่าความเข้มแสง อุณหภูมิ สารสีในใบ และอายุใบ มีผลต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงหรือไม่ จะออกแบบการทดลองหรือเปลี่ยนแปลงวิธีการที่แตกต่างไปจากเดิมอย่างไร
- ? ถ้าต้องการวัดอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช จะออกแบบการทดลองอย่างไร

กรณีศึกษา

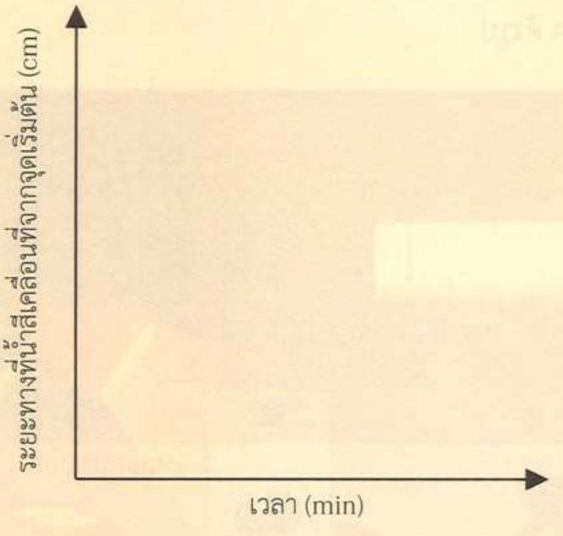
ในการทดลองวัดอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของสาหร่ายหางกระรอกที่ความเข้มแสงต่างกัน โดยจัดชุดการทดลอง ดังรูป



เมื่อวางโคมไฟห่างจากสาหร่ายหางกระรอกที่ระยะ 40 30 20 และ 10 cm ตามลำดับ พบว่ามี O_2 เกิดขึ้นจากการสังเคราะห์ด้วยแสงของสาหร่ายหางกระรอก ซึ่งจะดันให้น้ำสีในหลอดคะปิลลารีเคลื่อนที่ไปทางด้านซ้าย และสามารถบันทึกระยะทางที่น้ำสีเคลื่อนที่ไปทุก ๆ 1 นาที เป็นเวลา 5 นาที ได้ผลดังตาราง

ระยะทางระหว่างโคมไฟกับสาหร่าย (cm)	ระยะทางที่น้ำสีเคลื่อนที่จากจุดเริ่มต้น (cm)				
	นาทีที่ 1	นาทีที่ 2	นาทีที่ 3	นาทีที่ 4	นาทีที่ 5
40	1.0	1.8	2.9	4.0	4.8
30	1.0	2.1	3.2	4.1	5.1
20	2.5	5.1	8.0	10.5	13.2
10	3.2	6.3	9.4	12.5	15.8

? นำข้อมูลจากตารางมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางที่น้ำสีเคลื่อนที่จากจุดเริ่มต้นกับเวลาเมื่อวางโคมไฟห่างจากสาหร่ายหางกระรอกที่ระยะทางต่าง ๆ กัน



? การที่โคมไฟอยู่ห่างจากสาหร่ายหางกระรอกในระยะต่างกัน มีผลต่อความเข้มแสงและสัมพันธ์กับอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงอย่างไร

? ในการทดลองนี้ อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของสาหร่ายหางกระรอกวัดได้จากสิ่งใด

? ถ้าหลอดคะปิลลารีมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.2 cm อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงเมื่อวางโคมไฟห่างจากสาหร่ายหางกระรอก 40 cm มีค่าเท่าใด

? การนำขวดที่ใส่สาหร่ายหางกระรอกแช่น้ำในบีกเกอร์นั้นมีวัตถุประสงค์อะไร

? ถ้าต้องการตรวจสอบว่าแก๊สที่เกิดขึ้นเป็น O_2 หรือไม่ จะทำอย่างไร

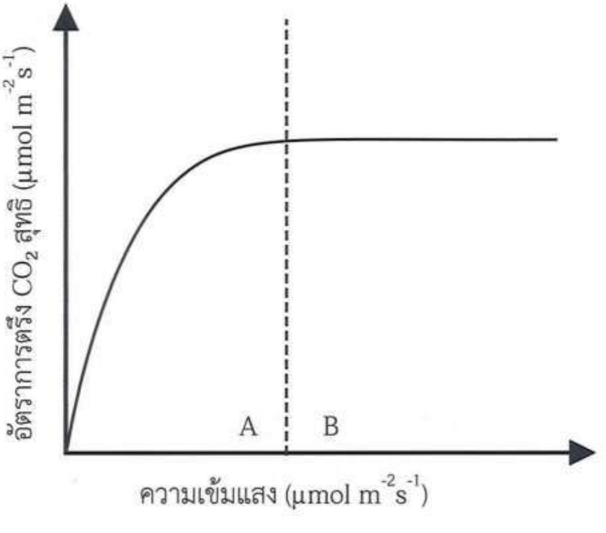
? นักเรียนจะสรุปผลการทดลองนี้ว่าอย่างไร

ปัจจัยที่มีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงที่พืชได้รับมีทั้งปัจจัยภายนอกที่เป็นสภาพแวดล้อม เช่น แสง CO_2 น้ำ อุณหภูมิ และธาตุอาหาร นอกจากนี้โครงสร้างของใบ อายุของใบ ก็เป็นปัจจัยที่มีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงด้วย ถ้าต้องการเพิ่มอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงซึ่งเป็นแนวทางหนึ่งที่ช่วยเพิ่มศักยภาพในการเพิ่มผลผลิตของพืชจึงจำเป็นต้องพิจารณาปัจจัยเหล่านี้ด้วย

11.5.1 ปัจจัยจำกัดในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง

โดยทั่วไปเมื่อเพิ่มความเข้มแสงให้พืชจะทำให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงเพิ่มขึ้น แสดงว่าความเข้มแสงเป็นปัจจัยที่มีผลในการจำกัดอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงในขณะนั้น จึงกล่าวได้ว่าความเข้มแสงเป็น**ปัจจัยจำกัด** (limiting factor) แต่เมื่อเพิ่มความเข้มแสงขึ้นจนถึงระดับหนึ่งอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงจะคงที่ แม้ว่าจะเพิ่มความเข้มแสงต่อไปก็ไม่ทำให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงเพิ่มขึ้น แสดงว่าความเข้มแสงไม่ใช่ปัจจัยจำกัดแล้ว แต่มีปัจจัยอื่นเป็นปัจจัยจำกัดแทน และถ้าต้องการให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงเพิ่มขึ้นอีกก็ต้องพิจารณาว่าในขณะนั้นปัจจัยใดที่เป็นปัจจัยจำกัดแทนความเข้มแสง เช่น ความเข้มข้นของ CO_2 ซึ่งถ้าเพิ่มขึ้นก็จะทำให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงเพิ่มขึ้น

จากการทดลองเพิ่มความเข้มแสงแล้ววัดอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชชนิดหนึ่ง นำข้อมูลมาเขียนกราฟได้ดังรูป 11.24

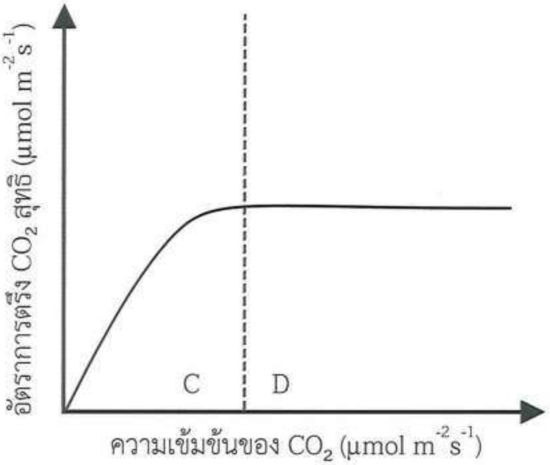


รูป 11.24 ผลของความเข้มแสงต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช

? จากกราฟ ช่วง A หรือ B ที่การสังเคราะห์ด้วยแสงมีแสงเป็นปัจจัยจำกัด

? ถ้าต้องการเพิ่มอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชชนิดนี้ในช่วง B ควรทำอย่างไร

เมื่อทดลองเพิ่มความเข้มข้นของ CO_2 ให้มากขึ้น แล้ววัดอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง นำข้อมูลมาเขียนกราฟ ได้ดังรูป 11.25



รูป 11.25 ผลของความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช

? จากกราฟ ช่วง C หรือ D ที่การสังเคราะห์ด้วยแสงมี CO_2 เป็นปัจจัยจำกัด

ความรู้เพิ่มเติม

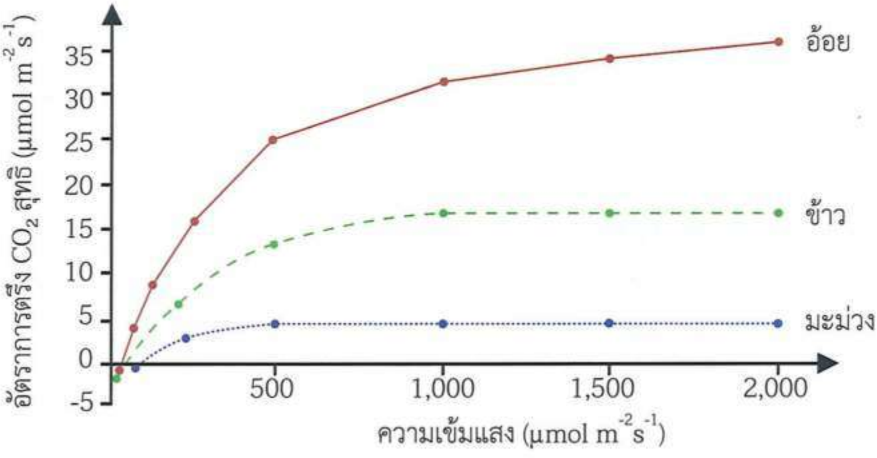
การวัดอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสามารถวัดได้จากการตรึง CO_2 สุทธิ ซึ่งเป็นปริมาณ CO_2 ที่ให้แก่พืชโดยหักลบปริมาณ CO_2 ที่เกิดขึ้นจากการหายใจระดับเซลล์และโฟโตเรสไพเรชันในพืช นอกจากนี้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงยังสามารถวัดได้ด้วยวิธีการอื่น เช่น วัดจากปริมาณ O_2 ที่เกิดขึ้น หรือ**มวลแห้ง** (dry mass) ของพืชที่เพิ่มขึ้น

11.5.2 ปัจจัยของสิ่งแวดล้อมที่มีผลต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง

ความเข้มแสง

จากที่ได้ศึกษาข้างต้นว่าความเข้มแสงมีความสัมพันธ์กับอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงแล้ว **พืชแต่ละชนิดต้องการแสงที่มีความเข้มแสงแตกต่างกันหรือไม่ อย่างไร**

ในการศึกษาผลของความเข้มแสงกับอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช 3 ชนิด โดยวัดจากอัตราการตรึง CO_2 สุทธิ ได้ผลดังรูป 11.26



รูป 11.26 ผลของความเข้มแสงต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช 3 ชนิด

- ? ข้าวมีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสูงสุดเมื่อมีความเข้มแสงเท่าใด
- ? ในที่ที่มีความเข้มแสงสูง พืชชนิดใดมีอัตราการตรึง CO_2 สุทธิสูงสุด
- ? ถ้าความเข้มแสงเป็น 500 μmol m^{-2}s^{-1} อัตราการตรึง CO_2 สุทธิของอ้อยเป็นเท่าใด
- ? พืชชนิดใดเมื่อเพิ่มความเข้มแสงมากกว่า 500 μmol m^{-2} s^{-1} จะมีอัตราการตรึง CO_2 สุทธิคงที่
- ? ในช่วงความเข้มแสงใดเป็นปัจจัยจำกัดต่อการเจริญเติบโตของมะม่วง

เมื่อให้ความเข้มแสงเพิ่มขึ้น อัตราการตรึง CO_2 สุทธิจะเพิ่มขึ้น และเมื่อเพิ่มความเข้มแสงมากขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงจุดหนึ่งที่เมื่อเพิ่มความเข้มแสงแล้วอัตราการตรึง CO_2 สุทธิจะไม่เพิ่มขึ้น เรียกค่าความเข้มแสงที่จุดนี้ว่า **จุดอิ่มตัวของแสง** (light saturation point)

ในขณะที่พืชมีการตรึง CO_2 พืชก็มีการหายใจระดับเซลล์และปล่อย CO_2 โดยในที่มืดจะพบว่าอัตราการตรึง CO_2 สุทธิเป็นลบเนื่องจาก CO_2 ที่ถูกตรึงในการสังเคราะห์ด้วยแสงน้อยกว่า CO_2 ที่ปล่อยจากการหายใจระดับเซลล์ และเมื่อลดความเข้มแสงจนกระทั่งอัตราการปล่อย CO_2 เท่ากับอัตราการตรึง CO_2 เรียกค่าความเข้มแสงที่จุดนี้ว่า ค่าชดเชยแสง หรือ**ไลต์คอมเพนเซชันพอยต์** (light compensation point) ซึ่งเป็นจุดตัดของเส้นกราฟบนแกน X

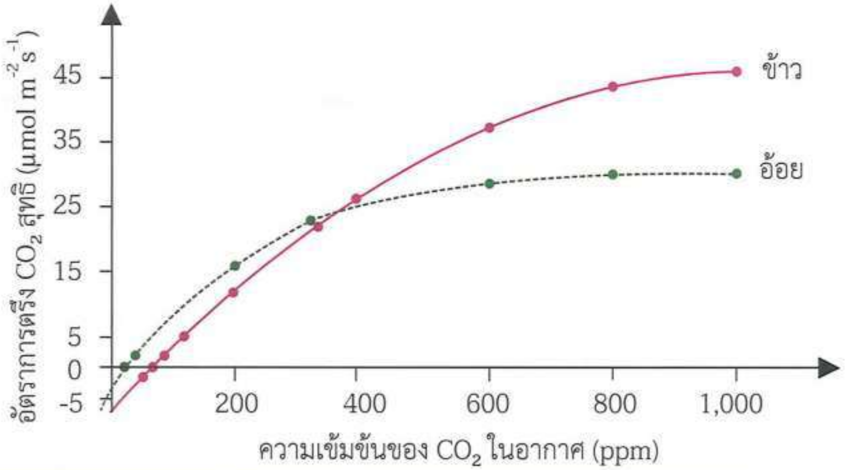
ในสภาพแวดล้อมที่มีมลพิษทางอากาศ เช่น ฝุ่นละออง เขม่าควัน หากมีปริมาณมากจนทำให้ความเข้มแสงน้อยกว่าค่าไลต์คอมเพนเซชันพอยต์ อัตราการตรึง CO_2 สุทธิจะเป็นลบ นั่นคือความเข้มแสงไม่เพียงพอสำหรับพืชในการดำรงชีวิตอยู่ได้

? จากรูป 11.26 จุดอิ่มตัวของแสงของพืชทั้งสามชนิดมีค่าเท่าใด

? จากรูป 11.26 ไลต์คอมเพนเซชันพอยต์ของพืชทั้งสามชนิดมีค่าเท่าใด และเท่ากันหรือไม่ เพราะเหตุใด

ความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ

จากการศึกษาของภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ พบว่าอัตราการตรึง CO_2 สุทธิของข้าวและอ้อยเป็นดังรูป 11.27



รูป 11.27 ผลของความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช 2 ชนิด

? ความเข้มข้นของ CO_2 ในอากาศที่เพิ่มมากขึ้น จะมีผลต่ออัตราการตรึง CO_2 สุทธิอย่างไร

? เมื่อเปรียบเทียบอัตราการตรึง CO_2 สุทธิของข้าวซึ่งเป็นพืช C_3 และอ้อยซึ่งเป็นพืช C_4 ที่ระดับความเข้มข้นของ CO_2 ในอากาศ 200 600 และ 800 ppm ผลเป็นอย่างไร

? ถ้าค่าอัตราการตรึง CO_2 สุทธิติดลบหมายความว่าอย่างไร

เมื่อความเข้มข้นของ CO_2 ในอากาศเพิ่มขึ้น อัตราการตรึง CO_2 จะสูงขึ้นเรื่อย ๆ เช่นกันจนถึงจุดหนึ่งที่อัตราการตรึง CO_2 สุทธิจะไม่เพิ่มขึ้น เรียกค่าความเข้มข้นของ CO_2 ที่จุดนี้ว่า **จุดอิ่มตัวของคาร์บอนไดออกไซด์** (carbon dioxide saturation point)

เมื่อลดความเข้มข้นของ CO_2 จนถึงระดับหนึ่งที่ทำให้อัตราการตรึง CO_2 ของการสังเคราะห์ด้วยแสงเท่ากับอัตราการปล่อย CO_2 จากการหายใจระดับเซลล์ เรียกค่าความเข้มข้นของ CO_2 ที่จุดนี้ว่า ค่าชดเชยคาร์บอนไดออกไซด์ หรือ**คาร์บอนไดออกไซด์คอมเพนเซชันพอยต์** (carbon dioxide compensation point) ซึ่งเป็นจุดตัดของเส้นกราฟบนแกน X

จากรูป 11.27 จะเห็นได้ว่าอ้อยซึ่งเป็นพืช C_4 เข้าสู่ระยะอิ่มตัวของ CO_2 ก่อนข้าวซึ่งเป็นพืช C_3 เนื่องจากพืช C_4 มีกลไกเพิ่มความเข้มข้นของ CO_2 ในเซลล์บันเดิลชีท ทำให้อัตราการตรึง CO_2 สุทธิเข้าสู่ระยะอิ่มตัว กราฟจึงเริ่มคงที่ ในขณะที่พืช C_3 ต้องการความเข้มข้นของ CO_2 ในบรรยากาศสูงกว่า จึงจะทำให้อัตราการตรึง CO_2 สุทธิเข้าสู่ระยะอิ่มตัว

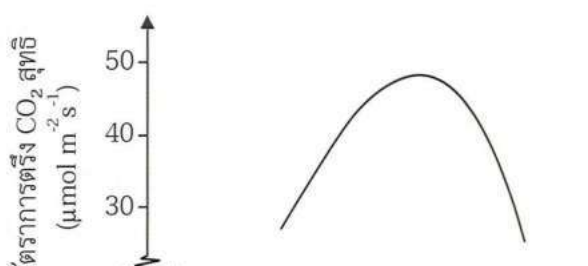
? จากรูป 11.27 คาร์บอนไดออกไซด์คอมเพนเซชันพอยต์ของอ้อยและข้าวเป็นเท่าใด

? ถ้านำพืช C_3 และพืช C_4 ใส่ในครอบแก้วเดียวกันที่ปิดสนิท ได้รับแสงและน้ำในปริมาณที่พอเหมาะเมื่อพิจารณาค่าคาร์บอนไดออกไซด์คอมเพนเซชันพอยต์ พืชชนิดใดจะตายก่อน เพราะเหตุใด

? ในอนาคตคาดว่าปริมาณ CO_2 ในอากาศจะเพิ่มสูงขึ้น พืช C_3 หรือพืช C_4 จะให้ผลิตภัณฑ์จากการสังเคราะห์ด้วยแสงได้มากกว่า เพราะเหตุใด

อุณหภูมิ

โดยทั่วไปอุณหภูมิที่เหมาะต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชประมาณ 10-30 °C เพราะเป็นช่วงที่เอนไซม์ทำงานได้ดี ถ้าอุณหภูมิสูงเกินไปจะทำให้เอนไซม์เสียสภาพไม่สามารถทำงานได้ หรืออุณหภูมิต่ำเกินไปก็อาจทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของเอนไซม์ลดลงได้เช่นกัน เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นถึงระดับหนึ่งการหายใจระดับเซลล์และโฟโตเรสไพเรชันจะเพิ่มขึ้น ทำให้การตรึง CO_2 สุทธิลดลง ดังรูป 11.28



รูป 11.28 อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของยางพารา

นอกจากนี้อุณหภูมิที่สูงหรือต่ำเกินไปมีผลทำให้เยื่อหุ้มออร์แกเนลล์ต่าง ๆ ที่จำเป็นต่อการทำงานของกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงมีสมบัติเป็นเยื่อเลือกผ่านลดลง

ได้มีผู้ศึกษาพืชเศรษฐกิจที่อายุสั้น เช่น ข้าวโพด ฝ้าย ซึ่งเจริญเติบโตได้ดีในเขตร้อนพบว่าต้องการอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงสูงกว่าพืชที่เจริญเติบโตในเขตอบอุ่น เช่น มันฝรั่ง ข้าวสาลี และข้าวบาร์เลย์ ดังนั้นโดยทั่วไปอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชจะใกล้เคียงกับอุณหภูมิของอากาศในช่วงเวลากลางวันในบริเวณที่พืชนั้น ๆ เจริญเติบโต และถ้าต้องการให้พืชในเขตอบอุ่นบางชนิดสามารถนำมาปลูกในเขตร้อนได้ อาจต้องมีการปรับปรุงพันธุ์เพื่อให้สามารถทนต่ออุณหภูมิที่สูงขึ้นได้

สำหรับพืชที่เจริญในเขตภูมิอากาศเดียวกันของโลกจะพบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช C_3 จะต่ำกว่าพืช C_4

ปริมาณน้ำ

เมื่อพืชเริ่มขาดน้ำจะทำให้รูปากใบแคบลงเพื่อลดการสูญเสียน้ำซึ่งส่งผลให้ CO_2 ในบรรยากาศแพร่เข้าสู่ใบได้น้อยลง อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงจึงลดลง นอกจากนี้การขาดน้ำทำให้รูปากใบแคบลงจนปากใบปิดซึ่งมีผลทำให้การคายน้ำลดลง นำไปสู่การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิภายในใบ ทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชลดลงอีกด้วย

ธาตุอาหาร

พืชต้องการธาตุอาหารหลายชนิด ธาตุอาหารมีความสำคัญต่อกระบวนการต่าง ๆ ของพืช เช่น เป็นองค์ประกอบของโคแฟกเตอร์ที่จำเป็นต่อการทำงานของเอนไซม์ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง และปฏิกิริยาต่าง ๆ ที่ต้องใช้เอนไซม์ **ธาตุอาหารอะไรบ้างที่จำเป็นต่อการสังเคราะห์ด้วยแสง**

ธาตุแมกนีเซียมและไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารที่เป็นองค์ประกอบของคลอโรฟิลล์ ส่วนธาตุเหล็กจำเป็นต่อการสร้างคลอโรฟิลล์ พืชที่ขาดธาตุเหล่านี้จะมีอาการใบเหลืองซีดที่เรียกว่า **คลอโรซิส** (chlorosis) ดังรูป 11.29 ส่วนธาตุแมงกานีสและคลอรีนจำเป็นต่อการแตกตัวของน้ำในปฏิกิริยาแสง



รูป 11.29 ลักษณะอาการคลอโรซิสของใบแตงกวา

นอกจากปัจจัยภายนอกดังกล่าวมาแล้ว ยังมีปัจจัยอื่นที่มีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงอีก เช่น อายุของใบโดยใบที่อ่อนหรือแก่เกินไปจะมีความสามารถในการสังเคราะห์ด้วยแสงต่ำกว่าใบที่เจริญเติบโตเต็มที่ เพราะใบที่อ่อนเกินไปการพัฒนาของคลอโรพลาสต์ยังเจริญไม่เต็มที่ ส่วนใบที่แก่เกินไปจะมีการสลายตัวของกรานุมและคลอโรฟิลล์ มีผลทำให้การสังเคราะห์ด้วยแสงลดลงด้วย

พืชบางชนิดยังสามารถปรับตัวในเรื่องใบให้อยู่รอดในปัจจัยจำกัดได้ เช่น ถ้าความเข้มแสงมากขึ้น เนื้อเยื่อชั้นมีโซฟิลล์จะหนาขึ้น แต่ถ้าความเข้มแสงน้อย ใบจะมีรูปร่างแบนบาง แผ่กว้าง การปรับตัวดังกล่าวนี้เกิดขึ้นในใบใหม่ที่ออกมา ไม่สามารถปรับโครงสร้างของใบเดิมที่มีอยู่แล้วได้ แต่ในใบเดิมอาจมีการปรับสัดส่วนปริมาณของคลอโรฟิลล์เอ และคลอโรฟิลล์บี ให้เหมาะสมกับการดูดกลืนแสงได้

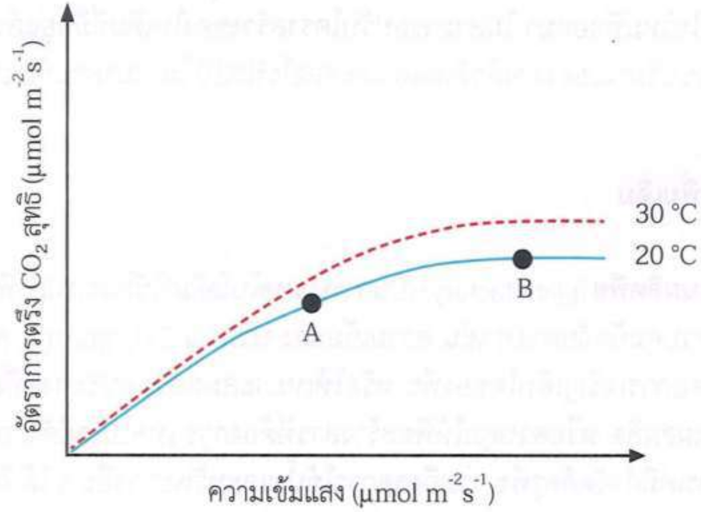
ความรู้เพิ่มเติม

เทคโนโลยีโรงงานผลิตพืช (plant factory) เป็นการนำเทคโนโลยีมาใช้ในการปลูกพืชในระบบปิดหรือกึ่งปิด โดยควบคุมปัจจัยต่าง ๆ เช่น ความเข้มแสง ปริมาณ CO_2 อุณหภูมิ ความชื้น ให้มีความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช หรือให้เหมาะสมต่อวัตถุประสงค์ที่ต้องการ เช่น เพิ่มคุณภาพของผลผลิต หรือควบคุมให้พืชสร้างสารที่ต้องการ เทคโนโลยีดังกล่าวนี้สามารถช่วยลดการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืช รวมถึงลดการใช้น้ำและทรัพยากรอื่น ๆ ได้ จึงเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

เทคโนโลยีโรงงานผลิตพืชนั้นสามารถทำได้ในพื้นที่จำกัด โดยได้มีการนำไปใช้ในเชิงพาณิชย์และประสบความสำเร็จแล้วในประเทศญี่ปุ่น สำหรับในประเทศไทยซึ่งไม่ได้มีข้อจำกัดของพื้นที่เพาะปลูก มีแนวโน้มที่จะนำเทคโนโลยีดังกล่าวมาประยุกต์ใช้ในการปลูกพืชในกลุ่มที่มีมูลค่าสูง เช่น พืชสมุนไพร โดยควบคุมปัจจัยต่าง ๆ โดยเฉพาะปัจจัยแสงเพื่อให้พืชสมุนไพรสร้างสารออกฤทธิ์ตามที่ต้องการ

ตรวจสอบความเข้าใจ

- ปัจจัยจำกัดสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืชอย่างไร
- จุดอิ่มตัวของแสงและไลต์คอมเพนเซชันพอยต์แตกต่างกันอย่างไร
- ในการศึกษาผลของอุณหภูมิต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชชนิดหนึ่งเมื่อได้รับความเข้มแสงต่าง ๆ กัน ได้ผลดังกราฟ



จากข้อมูลข้างต้น ตอบคำถามข้อ 1-4

1. ปัจจัยใดที่เป็นปัจจัยจำกัดของอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงที่จุด A
2. ที่จุด A และ จุด B มีปัจจัยจำกัดเหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร
3. เพราะเหตุใดเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 20 °C เป็น 30 °C อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชชนิดนี้จึงเพิ่มขึ้นได้
4. ถ้าเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้นเรื่อย ๆ ลักษณะของเส้นกราฟที่ได้จะมีลักษณะเหมือนหรือแตกต่างจากที่อุณหภูมิ 30 °C อย่างไร

การสังเคราะห์ด้วยแสงเป็นกระบวนที่สำคัญต่อพืชและสิ่งมีชีวิตอื่น เพราะเป็นกระบวนการเดียวที่สามารถเปลี่ยนพลังงานแสงมาเป็นพลังงานเคมีซึ่งอยู่ในโมเลกุลของสารอินทรีย์ พืชจึงสามารถสร้างอาหารได้และเป็นแหล่งอาหารที่สาคัญของสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ โดยอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชจะเกี่ยวข้องกับการได้รับปัจจัยต่าง ๆ ที่เหมาะสม เช่น ความเข้มแสง ความเข้มข้นของ CO_2 อุณหภูมิ น้ำ และธาตุอาหาร นอกจากนี้การสังเคราะห์ด้วยแสงยังเป็นกระบวนการหลักในการสร้าง O_2 ให้กับบรรยากาศเพื่อให้สิ่งมีชีวิตใช้ในกระบวนการหายใจ

สรุปเนื้อหาภายในบทเรียน

1. การศึกษาของนักวิทยาศาสตร์ทำให้เกิดความเข้าใจเกี่ยวกับกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงมากขึ้นเป็นลำดับจนได้ข้อสรุปว่าพืชต้องใช้ CO_2 น้ำ และแสงในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง และได้ผลิตภัณฑ์ คือ น้ำตาล และ O_2

2. การสังเคราะห์ด้วยแสงเกิดขึ้นในคลอโรพลาสต์ โดยมีไทลาคอยด์ซึ่งมีสารสีที่สามารถดูดกลืนพลังงานแสง และสโตรมาซึ่งมีเอนไซม์ที่จำเป็นในการตรึงคาร์บอน โดยกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงแบ่งได้เป็น 2 ขั้นตอน คือ ปฏิกิริยาแสงและการตรึงคาร์บอน โดยสารพลังงานสูงที่สร้างจากปฏิกิริยาแสงจะถูกนำไปใช้ในการตรึงคาร์บอน

3. ปฏิกิริยาแสงเป็นปฏิกิริยาที่เปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานเคมีในรูปของ NADPH และ ATP โดยแสงกระตุ้นโมเลกุลสารสีทำให้เกิดการถ่ายทอดอิเล็กตรอนซึ่งมี $NADP^+$ เป็นตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้ายได้เป็น NADPH และพลังงานที่มาจากการถ่ายทอดอิเล็กตรอนจะทำให้เกิดการสร้าง ATP

4. การถ่ายทอดอิเล็กตรอนในปฏิกิริยาแสงเกิดขึ้นได้ 2 ลักษณะ คือ การถ่ายทอดอิเล็กตรอนแบบไม่เป็นวัฏจักรซึ่งจะมีการสร้าง NADPH และ ATP รวมทั้งมี O_2 เกิดขึ้นด้วย และการถ่ายทอดอิเล็กตรอนแบบเป็นวัฏจักรซึ่งมีเฉพาะการสร้าง ATP

5. การตรึงคาร์บอนหรือวัฏจักรคัลวินมี 3 ขั้นตอน คือ คาร์บอกซิเลชัน รีดักชัน และรีเจเนอเรชัน

6. คาร์บอกซิเลชันเป็นขั้นตอนที่ RuBP จะทำปฏิกิริยากับ CO_2 โดยมีรูบิสโกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาได้สาร PGA ซึ่งเป็นสารที่มีคาร์บอน 3 อะตอม

7. รีดักชันเป็นขั้นตอนที่มีการใช้ ATP และ NADPH ที่ได้จากปฏิกิริยาแสงเพื่อสร้าง G3P ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่เป็นน้ำตาลชนิดแรกที่เกิดขึ้นในวัฏจักรคัลวิน

8. รีเจเนอเรชันเป็นขั้นตอนที่มีการสร้าง RuBP ขึ้นใหม่กลับคืนสู่วัฏจักรคัลวิน โดยมีการใช้ ATP ที่ได้จากปฏิกิริยาแสง

9. โฟโตเรสไพเรชันเป็นกระบวนการที่พืชตรึง O_2 โดยรูบิสโก ซึ่งจะทำให้พืชสร้างน้ำตาลจากวัฏจักรคัลวินได้ลดลง และมีการใช้ ATP ด้วย โดยพืช C_4 และพืช CAM มีกลไกในการเพิ่มความเข้มข้นของ CO_2 ทำให้โฟโตเรสไพเรชันเกิดขึ้นได้น้อยมาก หรือไม่เกิดเลย

10. พืช C_4 ตรึงคาร์บอน 2 ครั้งซึ่งการตรึงแต่ละครั้งจะเกิดที่เซลล์ต่างชนิดกัน ส่วนพืช CAM จะตรึงคาร์บอน 2 ครั้งเช่นกัน โดยทั้ง 2 ครั้งเกิดขึ้นในเซลล์เดียวกัน แต่เกิดต่างช่วงเวลา

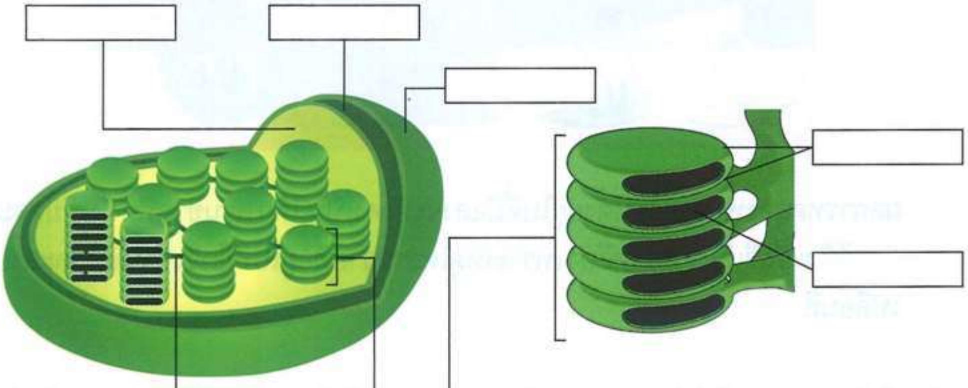
11. ปัจจัยของสิ่งแวดล้อมที่มีผลต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงซึ่งทำให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงไม่อยู่ในระดับสูงสุด เรียกปัจจัยนั้นว่าปัจจัยจำกัด

12. ปัจจัยที่มีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสง เช่น ความเข้มแสง ความเข้มข้นของ CO_2 อุณหภูมิ ปริมาณน้ำ ธาตุอาหาร และอายุใบ

แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 11

1. จากรูปโครงสร้างของคลอโรพลาสต์ จงเติมคำต่อไปนี้ลงในภาพ และหน้าข้อความที่มีความสัมพันธ์กัน

outer membrane/outer envelope	stroma lamella	stroma	granum
inner membrane/inner envelope	thylakoid	lumen	



....1.1 ช่องภายในไทลาคอยด์ซึ่งมีของเหลวที่ประกอบด้วยเอนไซม์ต่าง ๆ

....1.2 ของเหลวภายในคลอโรพลาสต์มีเอนไซม์ที่จำเป็นสำหรับการสังเคราะห์ด้วยแสง

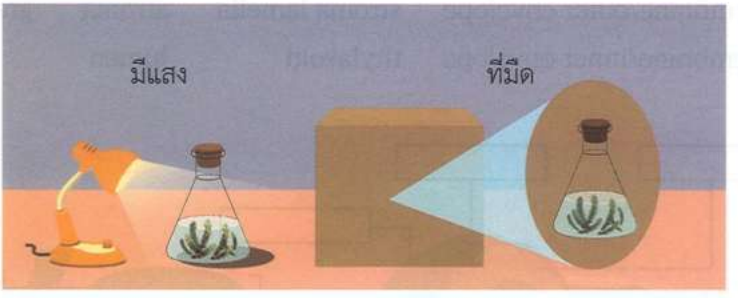
....1.3 แต่ละตั้ง (stack) ของไทลาคอยด์ที่ทับซ้อนกัน

....1.4 เยื่อชั้นนอกสุดของคลอโรพลาสต์

....1.5 เยื่อในคลอโรพลาสต์ที่มีการเกิดปฏิกิริยาแสง

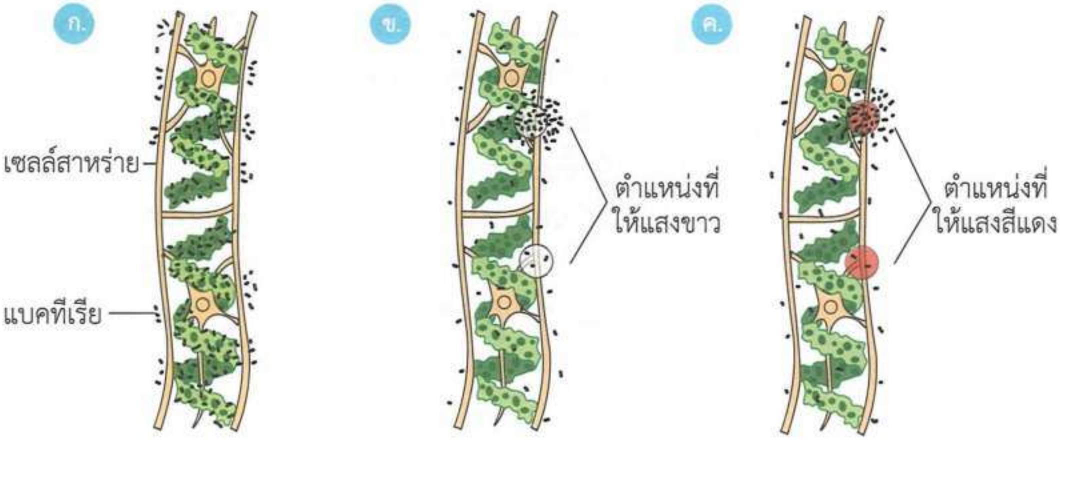
....1.6 เยื่อชั้นที่ขนานกับเยื่อชั้นนอกของคลอโรพลาสต์เกี่ยวข้องกับการลำเลียงสารเข้า-ออก

2. ในการทดลองหนึ่ง ชั่งสาหร่ายหางกระรอกให้มีน้ำหนักเท่า ๆ กัน ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาดเท่ากัน ซึ่งใส่น้ำ 200 mL แล้วเติมสารละลายโบรโมไทมอลบลูซึ่งเป็นอินดิเคเตอร์สำหรับกรด-เบส ลงไป 2 mL นำขวดหนึ่งไปตั้งไว้ในที่มีแสง อีกขวดหนึ่งไปตั้งไว้ในที่มืด เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ดังรูป



ผลการทดลองพบว่าขวดที่ตั้งอยู่ในที่มีแสงจะยังคงเป็นสีฟ้า ส่วนขวดที่ตั้งในที่มืดจะเปลี่ยนจากสีฟ้าเป็นสีเขียวแกมเหลือง เพราะเหตุใดสาหร่ายที่อยู่ในที่มืดจึงทำให้สารละลายในขวดเปลี่ยนสี

3. นักวิทยาศาสตร์ได้ทำการทดลองโดยนำสาหร่ายสีเขียวชนิดหนึ่งวางลงบนสไลด์ 3 แผ่น จากนั้นเติมแบคทีเรียที่ต้องการ O_2 ซึ่งเคลื่อนที่ได้ลงไป แล้วนำสไลด์แต่ละแผ่นแยกไปใส่ในกล่องใสที่ปิดสนิท (อากาศเข้าไม่ได้) โดยให้สาหร่ายในแผ่นสไลด์ ก. เจริญในที่มีแสง ส่วนแผ่นสไลด์ ข. และ ค. เจริญในที่มืด และให้แสงขาวและแสงสีแดงตรงตำแหน่งต่าง ๆ ในแผ่นสไลด์ ข. และ ค. ได้ผลการทดลองดังรูป

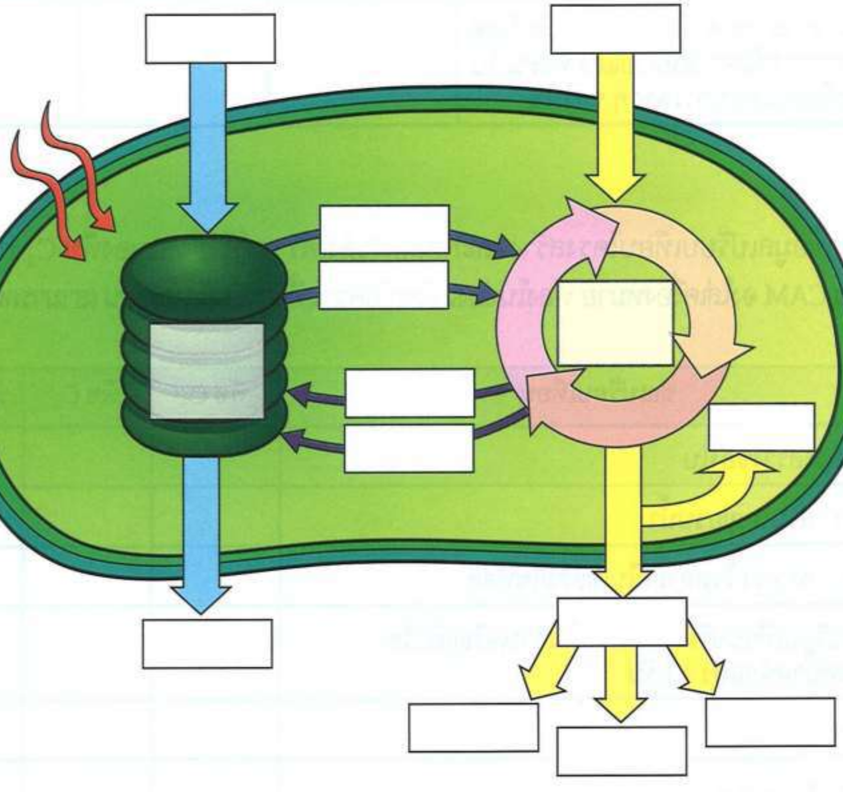


3.1 จงอธิบายและให้เหตุผลการกระจายตัวของแบคทีเรียในสไลด์ ก. ข. และ ค.

3.2 จากการทดลองจะสรุปผลการทดลองอย่างไร

4. จากแผนภาพสรุปกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงในคลอโรพลาสต์ของพืช C_3 จงเติมชื่อปฏิกิริยา สารตั้งต้น และผลิตภัณฑ์ด้านล่างลงในแผนภาพให้ถูกต้อง

H_2O	CO_2	O_2	ATP	ADP+P_i	NADPH	$NADP^+$
starch	G3P	sucrose	amino acid	fatty acid	light reaction	Calvin cycle



5. จงเติมคำลงในช่องว่างของตารางการเปรียบเทียบการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช C_3 พืช C_4 และพืช CAM

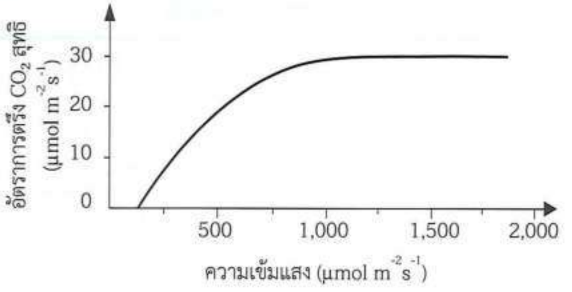
ข้อเปรียบเทียบ	พืช C_3	พืช C_4	พืช CAM
5.1 เอนไซม์ที่ใช้ในการตรึงคาร์บอนครั้งแรก			
5.2 สารเสถียรชนิดแรกที่ได้จากการตรึงคาร์บอน			
5.3 ช่วงเวลาการเปิดปากใบเพื่อนำ CO_2 เข้า (เติมกลางวันหรือกลางคืน)			
5.4 สารประกอบคาร์บอนที่เป็นผลิตภัณฑ์จากการสังเคราะห์ด้วยแสง ที่จะนำไปใช้ในกระบวนการต่าง ๆ ของพืช			

6. จากข้อมูลเปรียบเทียบโครงสร้างและกลไกการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช C_3 พืช C_4 และพืช CAM จงใส่เครื่องหมาย √ ลงในช่องแต่ละข้อความที่มีความสัมพันธ์กัน (สามารถตอบซ้ำได้)

ข้อเปรียบเทียบ	พืช C_3	พืช C_4	พืช CAM
6.1 โครงสร้างของใบ			
ก. ส่วนใหญ่อวบน้ำ			
ข. พบคลอโรพลาสต์ในเซลล์มีโซฟิลล์			
6.2 เปรียบเทียบปริมาณน้ำที่ใช้ในการเจริญเติบโตต่อน้ำหนักแห้ง 1 กรัม			
ก. มากที่สุด			
ข. ปานกลาง			
ค. น้อยที่สุด			

ข้อเปรียบเทียบ	พืช C_3	พืช C_4	พืช CAM
6.3 สารประกอบชนิดแรกที่เกิดขึ้นและเสถียรจากการตรึงคาร์บอน			
ก. สารประกอบที่มีคาร์บอน 3 อะตอม			
ข. สารประกอบที่มีคาร์บอน 4 อะตอม			
6.4 จำนวนครั้งของการตรึงคาร์บอน			
ก. 1 ครั้ง			
ข. 2 ครั้ง			
6.5 ช่วงเวลาที่มีการตรึงคาร์บอน			
ก. กลางวัน			
ข. กลางคืน			
6.6 สารที่ใช้ตรึงคาร์บอน			
ก. RuBP			
ข. PEP			
6.7 เอนไซม์ที่ช่วยในการตรึงคาร์บอน			
ก. PEP carboxylase			
ข. Rubisco			
6.8 แหล่งที่เกิดวัฏจักรคัลวินเป็นหลัก			
ก. เซลล์มีโซฟิลล์			
ข. เซลล์บันเดิลชีท			
6.9 ตัวอย่างพืช			
ก. ข้าวโพด ข้าวฟ่าง อ้อย			
ข. มะม่วง ข้าว กล้วย			
ค. กระบองเพชร ศรนารายณ์ ว่านหางจระเข้			

7. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับอัตราการตรึง CO_2 สุทธิของพืชชนิดหนึ่งที่อุณหภูมิ 25 °C ดังรูป



จงตอบคำถามต่อไปนี้

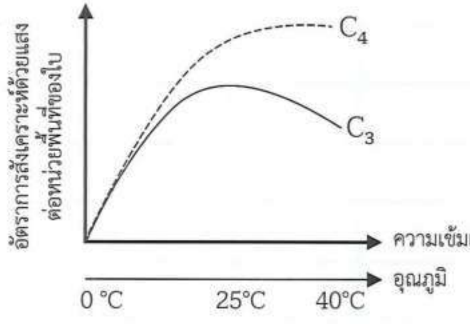
7.1 จากรูปแสงเป็นปัจจัยจำกัดต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงที่ความเข้มแสงประมาณช่วงใด

7.2 ใส่อักษร A ในตำแหน่งที่ความเข้มแสงมีผลทำให้อัตราการปล่อย CO_2 เท่ากับอัตราการตรึง CO_2

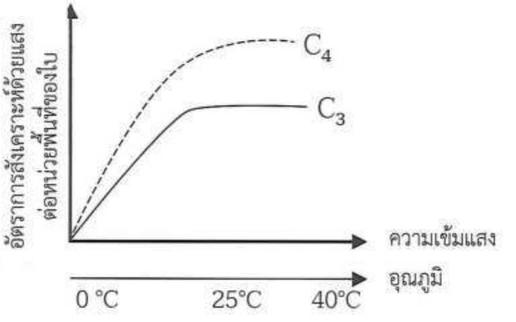
7.3 ใส่อักษร B ในตำแหน่งที่เป็นจุดอิ่มตัวของแสง และให้เหตุผลประกอบ

8. กราฟแสดงความสามารถในการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช C_3 และพืช C_4 ในข้อใดถูกต้อง

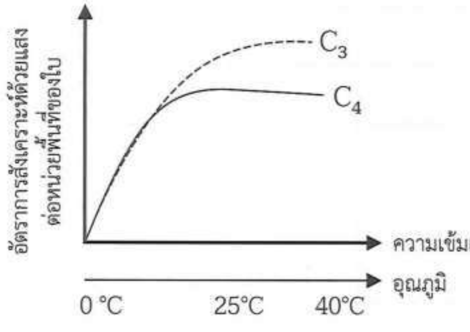
ก.



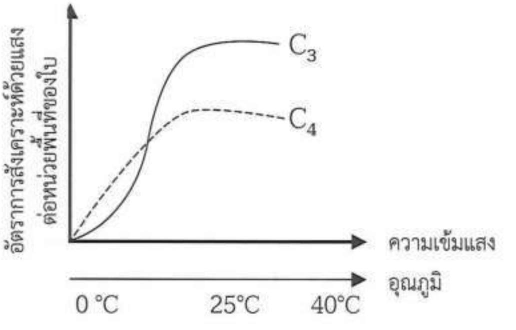
ข.



ค.



ง.



บทที่ 12 | การควบคุมการเจริญเติบโตและการตอบสนองของพืช

ipst.me/8865



ในช่วงฤดูร้อน จะสังเกตเห็นต้นราชพฤกษ์ออกดอกสีเหลืองเต็มต้น มองดูสวยงาม การเจริญเติบโตของต้นราชพฤกษ์จากเมล็ด จนกระทั่งออกดอก เกิดจากการตอบสนองของพืชต่อสิ่งเร้าภายในและสิ่งเร้าภายนอก เพื่อให้พืชดำรงชีวิตอยู่ได้ โดยทั่วไปพืชมีปฏิสัมพันธ์ต่อสิ่งแวดล้อมตลอดเวลา **สิ่งเร้าอะไรบ้างที่ทำให้ต้นราชพฤกษ์ออกดอก และการตอบสนองต่อสิ่งเร้าเหล่านี้เกิดขึ้นได้อย่างไร**

คำถามสำคัญ

1. **พืชมีการตอบสนองต่อสิ่งเร้าภายในและสิ่งเร้าภายนอกอย่างไร**
2. **ความรู้เกี่ยวกับการตอบสนองของพืชต่อสิ่งเร้าภายในและสิ่งเร้าภายนอกสามารถนำมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตรได้อย่างไร**
3. **ปัจจัยต่าง ๆ มีผลต่อการงอกของเมล็ดและสภาพพักตัวของเมล็ดอย่างไร**

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. อธิบายกระบวนการตอบสนองของพืชต่อฮอร์โมนพืช
2. สืบค้นข้อมูล อธิบายบทบาทและหน้าที่ของออกซิน ไซโทไคนิน จิบเบอเรลลิน เอทิลีน และกรดแอบไซซิก และอภิปรายเกี่ยวกับการนำไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตร
3. ทดลอง และอธิบายเกี่ยวกับปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการงอกของเมล็ดและสภาพพักตัวของเมล็ด
4. อธิบายแนวทางในการทำลายสภาพพักตัวของเมล็ด
5. สืบค้นข้อมูล ทดลอง และอธิบายเกี่ยวกับสิ่งเร้าภายนอกที่มีผลต่อการเจริญเติบโต และการตอบสนองของพืช
6. อธิบายการตอบสนองของพืชในภาวะเครียดที่เกิดจากสิ่งเร้าทางกายภาพและสิ่งเร้าทางชีวภาพ

ตรวจสอบความรู้ก่อนเรียน

ให้นักเรียนใส่เครื่องหมายถูก (√) หรือผิด (×) หน้าข้อความตามความเข้าใจของนักเรียน

◯ 1. หลังการปฏิสนธิรังไข่จะเจริญไปเป็นเมล็ด

◯ 2. เอนโดสเปิร์มทำหน้าที่สะสมอาหารสำหรับการเจริญเติบโตของเอ็มบริโอ

◯ 3. เอ็มบริโอเจริญมาจากไซโกต ประกอบด้วย 3 ส่วน คือ รากแรกเกิด ลำต้นแรกเกิด และใบเลี้ยง

◯ 4. เมล็ดถั่ว และเมล็ดข้าวโพด มีใบเลี้ยงทำหน้าที่สะสมอาหาร

◯ 5. โดยทั่วไปเมล็ดพืชต้องการ น้ำ แก๊สออกซิเจน และอุณหภูมิที่เหมาะสมในการงอก

◯ 6. โครงสร้างแรกที่เจริญออกจากเมล็ดในการงอกของเมล็ดข้าวโพดและเมล็ดถั่วเหลือง คือ รากแรกเกิด

◯ 7. พืชมีการตอบสนองต่อสิ่งเร้าซึ่งเป็นสมบัติอย่างหนึ่งของสิ่งมีชีวิต

เมล็ดพืชเพียงหนึ่งเมล็ดสามารถเจริญเติบโตเป็นพืชต้นใหญ่ได้ ต้องได้รับทั้งปัจจัยภายนอก เช่น น้ำ อุณหภูมิ แสง ธาตุอาหารต่าง ๆ ที่เหมาะสม และปัจจัยภายในซึ่งเป็น**สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช** (plant growth regulator) ที่พืชสร้างขึ้น เรียกว่า **ฮอร์โมนพืช** (plant hormone) เพื่อให้พืชสามารถเจริญเติบโตเป็นไปตามธรรมชาติของพืชนั้น ๆ **ปัจจัยที่เป็นสิ่งเร้าภายนอกและสิ่งเร้าภายในมีผลต่อการตอบสนองและการเจริญเติบโตของพืชอย่างไร**

เมื่อพืชได้รับสิ่งเร้าภายนอกมากระตุ้น เช่น แสง อุณหภูมิ หรือสิ่งเร้าภายใน เช่น ฮอร์โมนพืช พันธุกรรมของพืช จะเกิดการส่งสัญญาณไปที่ตัวรับสัญญาณ จากนั้นพืชจะถ่ายโอนสัญญาณภายในเซลล์โดยการทำงานของโปรตีนหรือสารอื่น ๆ ภายในเซลล์ และส่งสัญญาณระหว่างเซลล์ไปยังเซลล์ในส่วนของพืชที่ตอบสนองต่อสิ่งเร้าที่มากระตุ้น ลักษณะของสัญญาณที่ส่งอาจอยู่ในรูปของสารเคมีต่าง ๆ เช่น ฮอร์โมนพืช ทำให้พืชตอบสนองโดยการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา การเปลี่ยนแปลงของเซลล์ เนื้อเยื่อหรือโครงสร้างต่าง ๆ รวมทั้งการเคลื่อนไหวและการเจริญเติบโต ดังรูป 12.1



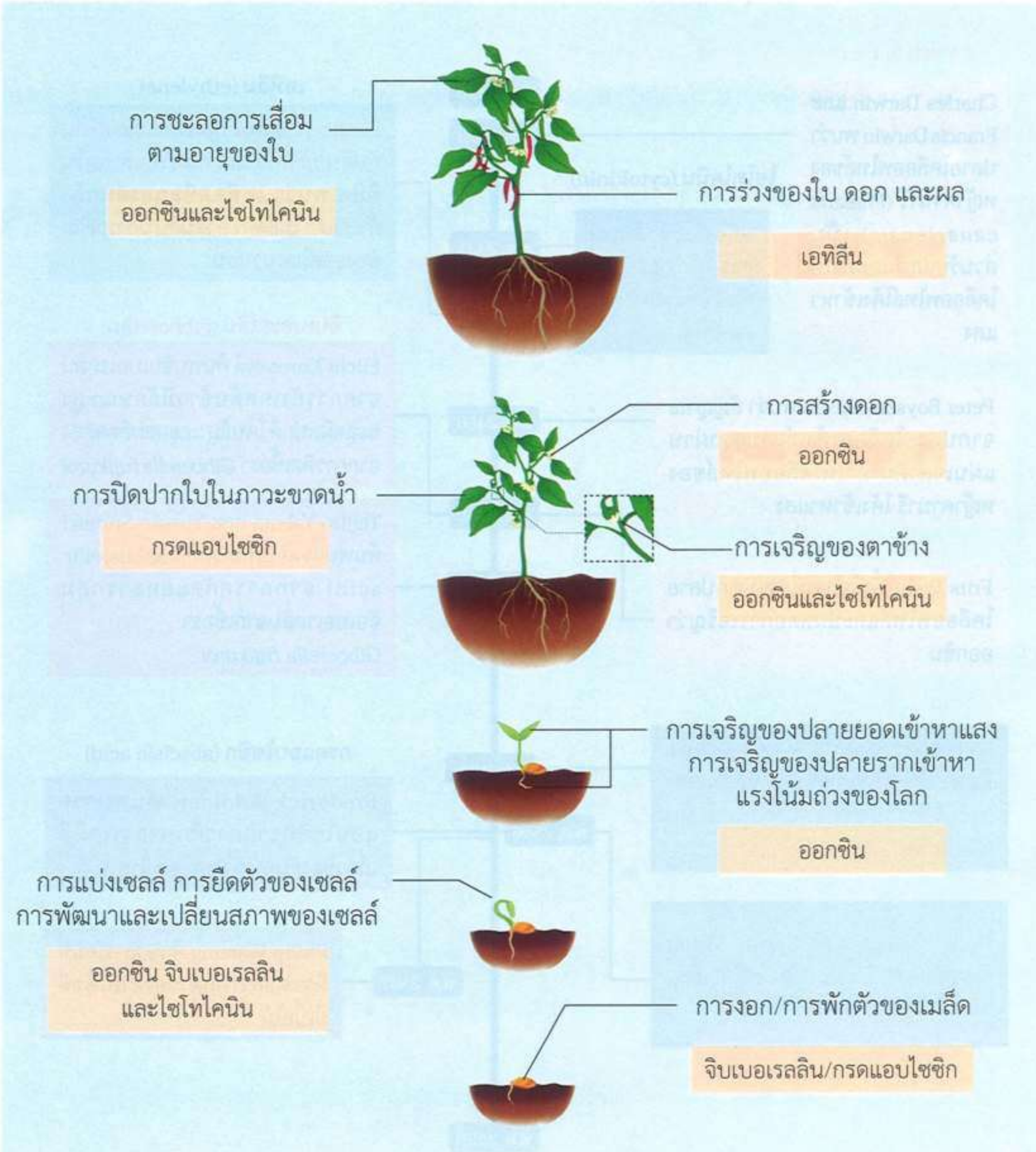
รูป 12.1 กระบวนการตอบสนองของพืชต่อสิ่งเร้า

12.1 ฮอร์โมนพืช

ipst.me/9196

ในธรรมชาติพืชสร้างฮอร์โมนหลายกลุ่มซึ่งฮอร์โมนพืชที่รู้จักโดยทั่วไป 5 กลุ่ม คือ **ออกซิน** (auxin) **ไซโทไคนิน** (cytokinin) **จิบเบอเรลลิน** (gibberellin; GA) **เอทิลีน** (ethylene) และ**กรดแอบไซซิก** (abscisic acid; ABA) พืชจะสร้างฮอร์โมนเหล่านี้ในปริมาณน้อย และทำงานในระดับความเข้มข้นต่ำ โดยฮอร์โมนต่าง ๆ มีการทำงานร่วมกันในสัดส่วนที่เหมาะสมในแต่ละช่วงการเจริญเติบโตซึ่งสามารถกระตุ้น ยับยั้ง หรือทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของพืชให้เป็นไปตามธรรมชาติได้ ในปัจจุบันมนุษย์ยังสามารถสังเคราะห์สารที่มีสมบัติคล้ายฮอร์โมนพืช เพื่อนำมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตรได้

ในวัฏจักรชีวิตตั้งแต่พืชงอกออกจากเมล็ด จนกระทั่งออกดอก ติดผล จะพบว่าพืชมีการเจริญเติบโต และมีการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา ซึ่งเป็นผลมาจากการตอบสนองของพืชต่อฮอร์โมนพืชกลุ่มต่าง ๆ ดังรูป 12.2



รูป 12.2 การตอบสนองของต้นพริกต่อฮอร์โมนพืชกลุ่มต่าง ๆ

ความรู้เพิ่มเติม

การค้นพบฮอร์โมนพืชกลุ่มต่าง ๆ จากการศึกษาค้นคว้าของนักวิทยาศาสตร์หลายคน มีดังนี้

พ.ศ. 2420

ออกซิน (auxin)

พ.ศ. 2423 — Charles Darwin และ Francis Darwin พบว่า ปลายโคลีออพไทล์ของหญ้าคานารี (*Phalaris canariensis*) เป็นส่วนรับแสง และทำให้โคลีออพไทล์โค้งเข้าหาแสง

ไซโทไคนิน (cytokinin)

พ.ศ. 2435 — Wiesner J. ค้นพบสารเคมีบางอย่างที่ชักนำให้เกิดการแบ่งเซลล์พืช

เอทิลีน (ethylene)

พ.ศ. 2444 — Dimitry Neljubov ทดลองให้แก๊สเอทิลีนกับต้นกล้าถั่วลันเตาที่เจริญเติบโตในที่มืด พบว่า เอพิคอทิลของต้นกล้าถั่วลันเตา ไม่ยืดตัว ลำต้นสั้น มีการเจริญของยอดในแนวนอน

พ.ศ. 2456 — Peter Boysen-Jensen พบว่า สัญญาณจากปลายโคลีออพไทล์สามารถผ่านแผ่นเจลาติน ทำให้โคลีออพไทล์ของหญ้าคานารี โค้งเข้าหาแสง

จิบเบอเรลลิน (gibberellin)

พ.ศ. 2469 — Eiichi Kurosawa ค้นพบจิบเบอเรลลินจากการสังเกตต้นข้าวมีลักษณะสูงชะลูดผิดปกติ โค่นล้ม และผลผลิตลดลงจากการติดเชื้อรา *Gibberella fujikuroi*

พ.ศ. 2469 — Frits Went ตั้งชื่อสารที่สร้างจากปลายโคลีออพไทล์และมีผลต่อการเจริญว่า ออกซิน

พ.ศ. 2473 — Teijiro Yabuta และ Yusuke Sumuki ค้นพบกรดจิบเบอเรลลิก (gibberellic acid) จากการสกัดแยกสารกลุ่มจิบเบอเรลลินจากเชื้อรา *Gibberella fujikuroi*

พ.ศ. 2498 — Folke Karl Skoog และ Carlos Mille ค้นพบไคเนทิน (kinetin) ซึ่งสามารถกระตุ้นการแบ่งเซลล์ ในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช

กรดแอบไซซิก (abscisic acid)

พ.ศ. 2506 — Frederick Addicott ค้นพบกรดแอบไซซิกจากการศึกษาสารเคมีที่เกี่ยวข้องกับการร่วงของผลฝ้าย

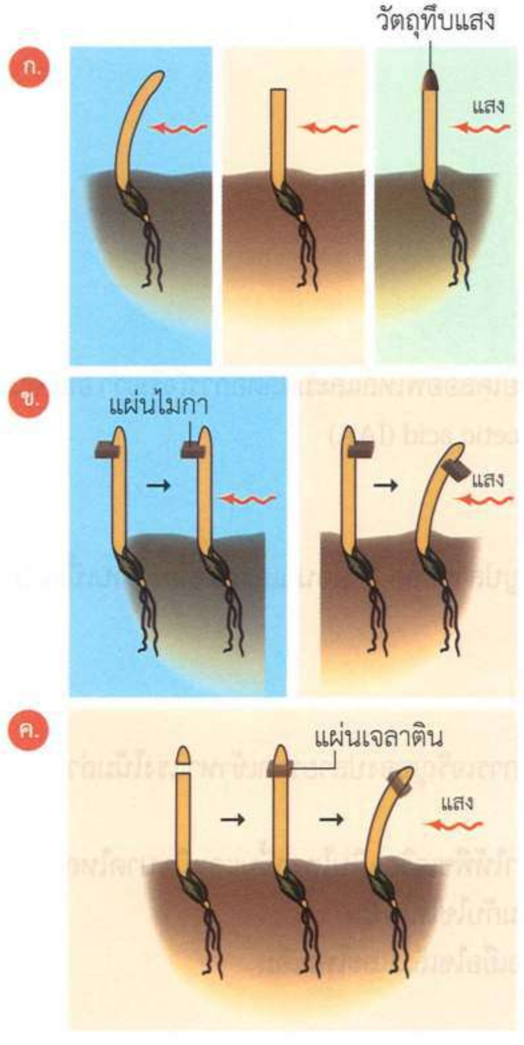
พ.ศ. 2506 — D. S. Letham และ Carlos Miller ค้นพบซีเอทิน (zeatin) ในเอนโดสเปิร์มของข้าวโพด (*Zea mays*)

พ.ศ. 2507 — Philip Wareing ศึกษาสารเคมีที่มีผลต่อการพักตัวของตาในพืชที่มีเนื้อไม้

พ.ศ. 2520

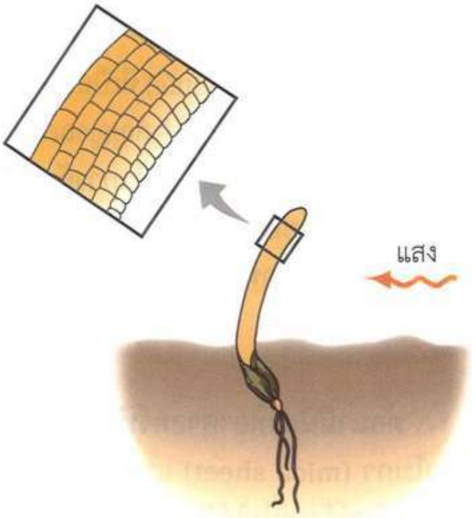
12.1.1 ออกซิน

นักวิทยาศาสตร์ได้ศึกษาการโค้งเข้าหาแสงของโคลีออพไทล์ (coleoptile) ที่เป็นเยื่อหุ้มยอดแรกเกิดของพืชใบเลี้ยงเดี่ยวของหญ้าคานารี ที่มีอายุ 4 วัน พบว่า หญ้าคานารีส่งสัญญาณบางอย่างจากปลายโคลีออพไทล์สู่ด้านล่าง มีผลทำให้เซลล์ด้านที่ไม่ได้รับแสงโดยตรงเติบโตเร็วกว่าด้านที่ได้รับแสง ทำให้โคลีออพไทล์โค้งเข้าหาแสง แต่ถ้าตัดปลายโคลีออพไทล์ออกหรือครอบด้วยวัสดุทึบแสง โคลีออพไทล์ไม่โค้งเข้าหาแสง ดังรูป 12.3 ก. นั่นแสดงว่าปลายโคลีออพไทล์เป็นส่วนรับแสง ทำให้โคลีออพไทล์ของหญ้าคานารีโค้งเข้าหาแสงได้



รูป 12.3 การทดลองเกี่ยวกับออกซิน

ต่อมามีนักวิทยาศาสตร์ทำการทดลองใช้แผ่นไมกา (mica sheet) แทรกบริเวณปลายโคลีออพไทล์ด้านที่ไม่ได้รับแสง แล้วให้แสงเข้าในทิศทางตรงกันข้าม พบว่า โคลีออพไทล์ไม่โค้งเข้าหาแสง ถ้านำแผ่นไมกาแทรกบริเวณด้านที่ได้รับแสง จะทำให้โคลีออพไทล์โค้งเข้าหาแสง ดังรูป 12.3 ข. เมื่อตัดปลายโคลีออพไทล์ออกแล้วนำแผ่นเจลาตินกั้นไว้แล้ววางปลายโคลีออพไทล์บนแผ่นเจลาติน และให้แสงเข้าด้านเดียว พบว่า โคลีออพไทล์สามารถโค้งเข้าหาแสง ดังรูป 12.3 ค. แสดงว่าต้องมีสารเคมีบางอย่างที่ลำเลียงจากปลายโคลีออพไทล์ ซึ่งผ่านแผ่นไมกาไม่ได้ แต่ผ่านแผ่นเจลาตินได้



รูป 12.4 การโค้งของโคลีออพไทล์เมื่อได้รับแสง

ต่อมานักวิทยาศาสตร์อธิบายว่า โคลีออพไทล์โค้งเข้าหาแสงได้ เนื่องจากบริเวณปลายโคลีออพไทล์จะสร้างสารบางชนิดและแสงจะทำให้สารนี้เคลื่อนที่จากด้านที่ได้รับแสงมากไปยังด้านที่ได้รับแสงน้อย ทำให้เซลล์บริเวณด้านที่ได้รับแสงน้อยมีปริมาณสารนี้มากและจะไปกระตุ้นให้เซลล์บริเวณนี้ขยายตัวตามยาว ดังรูป 12.4

นักวิทยาศาสตร์ได้ตั้งชื่อสารเคมีที่สร้างจากปลายโคลีออพไทล์และมีผลต่อการเจริญว่า ออกซิน สารกลุ่มออกซินที่พบมากในธรรมชาติคือ indole-3-acetic acid (IAA)

แหล่งสร้างออกซิน

แหล่งสร้างหลักของออกซิน ได้แก่ เนื้อเยื่อเจริญปลายยอด ใบอ่อน และผลอ่อน ส่วนเนื้อเยื่ออื่น ๆ สามารถสร้างออกซินได้ในปริมาณน้อย

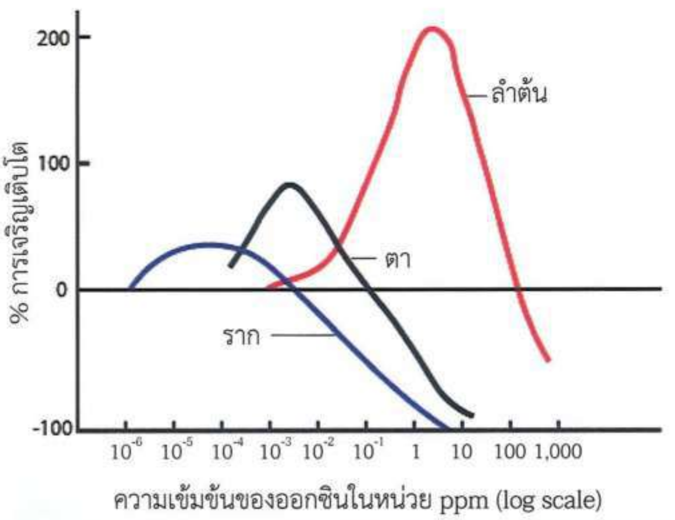
ผลของออกซิน

1. ทำให้เกิดการเจริญของปลายยอดเข้าหาแสง และการเจริญของปลายรากเข้าหาแรงโน้มถ่วงของโลก
2. กระตุ้นเซลล์บริเวณที่มีการยืดตัวให้ขยายขนาด ทำให้พืชเจริญเติบโตสูงขึ้นและมีขนาดใหญ่ขึ้น
3. กระตุ้นการแบ่งเซลล์ของแคมเบียม โดยทำงานร่วมกับไซโทไคนิน
4. กระตุ้นเซลล์ให้พัฒนาและเปลี่ยนสภาพไปเป็นเนื้อเยื่อไซเล็มและโฟลเอ็ม
5. ยับยั้งการเจริญของตาข้าง

นอกจากนี้ออกซินยังมีผลต่อพืชด้านต่าง ๆ อีก เช่น ยับยั้งการหลุดร่วงของใบ ชะลอการสุกของผลและควบคุมการสร้างดอก

ออกซินกับการนำไปใช้

สารสังเคราะห์ที่มีสมบัติคล้ายออกซิน เช่น indole butyric acid (IBA), 2,4 - dichlorophenoxy acetic acid (2,4-D) และ naphthalene acetic acid (NAA) มีการนำมาใช้เพื่อเร่งการเกิดรากของกิ่งตอนหรือกิ่งปักชำ การพัฒนาของรากแขนง และการพัฒนาและเปลี่ยนสภาพของรากในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช รวมทั้งใช้กระตุ้นให้พืชบางชนิดติดผลโดยไม่ต้องมีการปฏิสนธิ (parthenocarpic fruit) เช่น องุ่น แตงโม สตรอเบอรี มะเขือเทศ ซึ่งทำให้ได้ผลที่ไม่มีเมล็ด นอกจากนี้หากพืชได้รับสารที่มีสมบัติคล้ายออกซินมากเกินไปจะยับยั้งการเจริญเติบโต ดังนั้นจึงมีการใช้สารกลุ่มนี้เพื่อกำจัดวัชพืชบางชนิดด้วย โดยส่วนต่าง ๆ ของพืชมีการตอบสนองต่อความเข้มข้นของออกซินที่ระดับต่าง ๆ แตกต่างกัน ดังรูป 12.5



รูป 12.5 ความเข้มข้นของออกซินในระดับต่าง ๆ ที่มีผลต่อการกระตุ้นหรือยับยั้งการเจริญเติบโตของราก ตา และลำต้น

? ปริมาณออกซินมีผลต่อการเจริญเติบโตของเนื้อเยื่อแต่ละบริเวณแตกต่างกันอย่างไร

? ปริมาณออกซินที่เหมาะสมที่สุดต่อการเจริญของลำต้นจะมีผลต่อการเจริญของรากอย่างไร

12.1.2 ไซโทไคนิน

นักวิทยาศาสตร์ค้นพบไซโทไคนินจากความพยายามค้นหาสารเคมีที่มีผลกระตุ้นการแบ่งเซลล์พืช ซึ่งพบว่ามีสารเคมีบางอย่างที่ชักนำให้เกิดการแบ่งเซลล์ในเซลล์เพาะเลี้ยงหรือเนื้อเยื่อที่เกิดบาดแผล นักวิทยาศาสตร์ได้ใช้เทคนิคการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชเป็นเครื่องมือ เพื่อศึกษาการแบ่งเซลล์

และการพัฒนาของเซลล์พืช และพบว่าน้ำมะพร้าวเมื่อใช้ร่วมกับออกซิน สามารถกระตุ้นการแบ่งเซลล์พืชได้ ต่อมานักวิทยาศาสตร์ได้ค้นพบไคเนทิน (kinetin) ซึ่งได้จากการนำ DNA จากสเปิร์มปลาแฮร์ริง (herring) มานึ่งฆ่าเชื้อด้วยไอน้ำที่ความดันสูง และเติมลงไปในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชที่มีออกซินอยู่สามารถกระตุ้นการแบ่งเซลล์พืชได้ จากการค้นพบไคเนทินทำให้นักวิทยาศาสตร์พยายามค้นหาไซโทไคนินธรรมชาติที่พบได้ในพืช จนกระทั่งนักวิทยาศาสตร์ได้ค้นพบไซโทไคนินในเอนโดสเปิร์มของข้าวโพด (*Zea mays*) จึงเรียกว่า ซีเอทิน (zeatin) ซึ่งเป็นไซโทไคนินในธรรมชาติ

แหล่งสร้างไซโทไคนิน

แหล่งสร้างหลักของไซโทไคนินอยู่บริเวณเนื้อเยื่อเจริญที่ราก และบริเวณที่มีการแบ่งเซลล์

ผลของไซโทไคนิน

1. กระตุ้นการแบ่งเซลล์ และการเปลี่ยนสภาพของเซลล์
2. กระตุ้นการเจริญของตาข้าง
3. กระตุ้นการเจริญเติบโตของเอ็มบริโอ การพัฒนาของแกมีโทไฟต์

นอกจากนี้ไซโทไคนินยังช่วยกระตุ้นการเกิดยอด และช่วยชะลอการเสื่อมตามอายุ (senescence) ของคลอโรฟิลล์ ทำให้ใบมีอายุยาวนานขึ้น

ไซโทไคนินกับการนำไปใช้

สารสังเคราะห์ที่มีสมบัติคล้ายไซโทไคนิน เช่น 6-benzylamino purine (BA), tetrahydropyranyl benzyladenine (TDZ) มีการนำมาใช้เพื่อช่วยเร่งการแตกตาข้างของพืช รวมทั้งนำความรู้เกี่ยวกับการทำงานร่วมกันของออกซินและไซโทไคนินมาใช้ในการตัดแต่งกิ่งเพื่อควบคุมทรงพุ่มของไม้ดอก ไม้ประดับ และไม้ผลบางชนิด ดังรูป 12.6



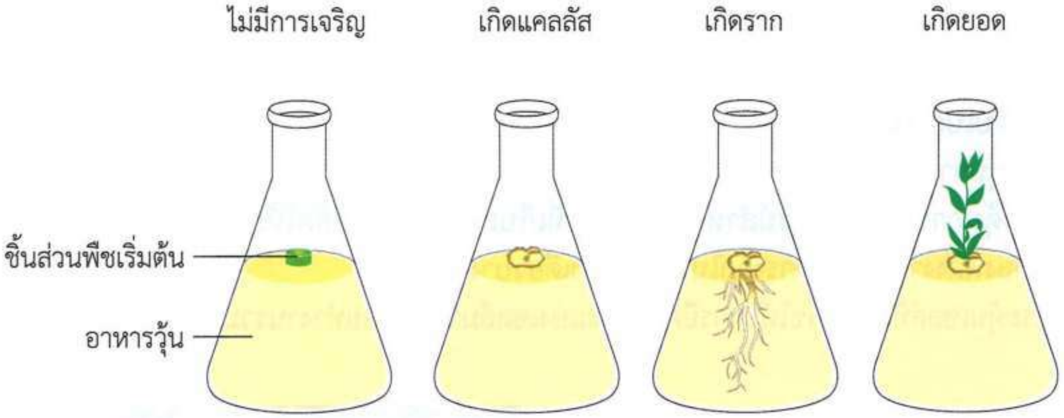
รูป 12.6 การตัดยอดแต่งกิ่งเพื่อควบคุมทรงพุ่มของต้นทุเรียน

? เพราะเหตุใดชาวสวนต้องตัดยอดแต่งกิ่งทุเรียนเพื่อควบคุมทรงพุ่ม

? การตัดยอดแต่งกิ่งมีผลต่อการทำงานของออกซินและไซโทไคนินอย่างไร

? ถ้าไม่ใช้วิธีการตัดยอดแต่งกิ่ง การทำให้ทุเรียนแตกตาข้างสามารถทำได้อย่างไร

นอกจากนี้ในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชยังสามารถใช้สารสังเคราะห์ที่มีสมบัติคล้ายไซโทไคนิน หรือใส่น้ำมะพร้าวซึ่งมีซีเอทินลงไปในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช เพื่อกระตุ้นการสร้างตาใหม่ กระตุ้นการสร้างยอด ดังรูป 12.7



ออกซิน (mg/L)	ไม่ใส่	2	2	0.02
ไซโทไคนิน (mg/L)	0.2	0.2	0.02	1

? จากรูป 12.7 นักเรียนจะสรุปได้ว่าอย่างไร

รูป 12.7 ความเข้มข้นของออกซินและไซโทไคนินที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของเนื้อเยื่อพืชชนิดหนึ่ง

รู้หรือไม่

แคลลัส (callus) เป็นกลุ่มเซลล์พาเรงคิมาที่ยังไม่มีการเปลี่ยนสภาพหรือพัฒนาไปเป็นเนื้อเยื่อหรืออวัยวะของพืช

12.1.3 จิบเบอเรลลิน

นักวิทยาศาสตร์ได้ค้นพบจิบเบอเรลลินครั้งแรก จากการสังเกตต้นข้าวมีลักษณะสูงชะลูดผิดปกติ โค่นล้ม และผลผลิตลดลงจากการเข้าทำลายของเชื้อรา *Gibberella fujikuroi* ซึ่งเชื้อราชนิดนี้จะผลิตสารกลุ่มจิบเบอเรลลินที่กระตุ้นให้ลำต้นของต้นข้าวยืดยาว ซึ่งต่อมานักวิทยาศาสตร์สามารถสกัดแยกสารกลุ่มจิบเบอเรลลินจากเชื้อราชนิดนี้ได้ คือ กรดจิบเบอเรลลิก (gibberellic acid; GA_3) ต่อมาพบว่าพืชก็สามารถสร้างสารจิบเบอเรลลินได้เช่นเดียวกัน

แหล่งสร้างจิบเบอเรลลิน

แหล่งสร้างจิบเบอเรลลินมีได้หลายบริเวณ เช่น เมล็ดที่กำลังเจริญ เมล็ดที่กำลังงอก เนื้อเยื่อเจริญปลายยอด ปลายราก อับเรณู และผล เป็นต้น

ผลของจิบเบอเรลลิน

1. กระตุ้นการงอกของเมล็ด
2. กระตุ้นการสร้างเอนไซม์สำหรับย่อยแป้งที่เก็บสะสมอยู่ในเมล็ดให้เป็นน้ำตาล เพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานสำหรับการงอกในพืชใบเลี้ยงเดี่ยวบางชนิด
3. กระตุ้นเซลล์ที่ลำต้นพืชให้มีการยืดตัวและแบ่งเซลล์มากขึ้น โดยทำงานร่วมกับออกซิน

จิบเบอเรลลินกับการนำไปใช้

สารสกัดจากเชื้อราที่มีสมบัติเป็นจิบเบอเรลลิน เช่น GA_3 ช่วยยืดช่อผลองุ่นให้ยาว และทำให้ผลขยายขนาดใหญ่ขึ้นได้ ดังรูป 12.8

นอกจากนี้การให้จิบเบอเรลลินยังสามารถทดแทนอุณหภูมิต่ำ สำหรับพืชที่ต้องการอุณหภูมิต่ำเพื่อกระตุ้นการออกดอก เช่น พืชพวกกะหล่ำปลี และแครอท



ก. ไม่ใช้สาร GA_3 ข. ใช้สาร GA_3

รูป 12.8 ผลของสาร GA_3 ช่วยยืดช่อองุ่นและขยายขนาดของผล

12.1.4 เอทิลีน

นักวิทยาศาสตร์ได้ทดลองให้แก๊สชนิดต่าง ๆ กับต้นกล้าถั่วลันเตาที่กำลังเจริญเติบโตในที่มืด และพบว่าแก๊สเอทิลีนทำให้เอพิคอทิลของต้นกล้าไม่ยืดตัว ลำต้นจึงสั้น ลำต้นอ้วน และมีการเจริญของยอดในแนวนอน ดังรูป 12.9 และต่อมาพบว่าพืชสามารถสร้างเอทิลีนได้



รูป 12.9 การเจริญของต้นกล้าถั่วลันเตาที่ได้รับแก๊สเอทิลีน

แหล่งสร้างเอทิลีน

เอทิลีนมีสถานะเป็นแก๊สและเกิดขึ้นจากกระบวนการเมแทบอลิซึมของพืช สามารถสร้างได้ในเกือบทุกส่วนของพืช แต่อัตราการสร้างจะขึ้นกับชนิดของเนื้อเยื่อ ระยะการเจริญ และสิ่งแวดล้อม เช่น ผลบางชนิดจะมีการสร้างเอทิลีนสูงในขณะที่กำลังสุก นอกจากนี้จะพบเอทิลีนในเนื้อเยื่อพืชที่เข้าสู่การเสื่อมตามอายุ และในเนื้อเยื่อที่ตอบสนองต่อภาวะเครียด เช่น น้ำท่วม ความแห้งแล้ง และการเข้าทำลายของจุลินทรีย์ที่ก่อโรค

ผลของเอทิลีน

1. ส่งเสริมใบและดอกเข้าสู่การเสื่อมตามอายุ และกระตุ้นให้เกิดการร่วงของใบ ดอก และผล
2. กระตุ้นการสุกของผลไม้ที่สามารถบ่มให้สุกได้ เช่น มะม่วง กล้วย ละมุด ทุเรียน มังคุด น้อยหน่า มะละกอ
3. กระตุ้นการขยายขนาดของเซลล์ทางด้านข้าง เมื่อเอทิลีนมีความเข้มข้นสูงระดับหนึ่ง

นอกจากนี้เอทิลีนยังช่วยกระตุ้นการงอกของเมล็ด กระตุ้นการออกดอกของพืชบางชนิด เช่น สับปะรด และกระตุ้นการเกิดขนรากและยับยั้งการแตกรากแขนง

เอทิลีนกับการนำไปใช้

ในการเร่งการสุกของผลไม้ให้สุกพร้อมกัน และให้เพียงพอกับความต้องการของผู้บริโภค สามารถใช้เอทิฟอน (ethephon) ที่ให้แก๊สเอทิลีน หรือการใช้ถ่านแก๊ส (calcium carbide) ซึ่งเมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำจะให้แก๊สอะเซทิลีน (acetylene; C_2H_2) ซึ่งให้ผลคล้ายแก๊สเอทิลีน

? เอทิลีนสามารถนำไปใช้กับเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวของผลไม้ประเภทบ่มสุกได้อย่างไร

? จากความรู้เรื่องกระบวนการตอบสนองของพืชต่อฮอร์โมนพืชและผลของเอทิลีน สามารถนำไปใช้เพื่อยืดอายุการปักแจกันของไม้ตัดดอกได้อย่างไร

12.1.5 กรดแอบไซซิก

นักวิทยาศาสตร์ได้ศึกษาสารเคมีที่เกี่ยวข้องกับการร่วงของผลฝ้าย สารเคมีที่มีผลต่อการพักตัวของตาในพืชที่มีเนื้อไม้ และสารเคมีที่มีผลต่อการหลุดร่วงของดอกและผลของพืชดอกสกุลลูพินัส (*Lupinus*) ต่อมาพบว่า สารเคมีที่นักวิทยาศาสตร์ข้างต้นได้ศึกษาเป็นสารเคมีชนิดเดียวกัน คือ กรดแอบไซซิก

แหล่งสร้างกรดแอบไซซิก

กรดแอบไซซิกสามารถสร้างได้จากเซลล์ต่าง ๆ ที่มีคลอโรพลาสต์ หรืออะไมโลพลาสต์ โดยปริมาณของกรดแอบไซซิกจะเปลี่ยนแปลงไปตามระยะการพัฒนาของพืชและผลกระทบจากสิ่งแวดล้อม

ผลของกรดแอบไซซิก

1. ควบคุมเมล็ด และตา ให้เกิดการพักตัว
2. ตอบสนองต่อภาวะเครียดจากสิ่งแวดล้อม เช่น กระตุ้นการปิดปากใบในภาวะที่พืชขาดน้ำ
3. กระตุ้นการสังเคราะห์โปรตีนที่สะสมในเมล็ด
4. ยับยั้งการทำงานของจิบเบอเรลลินในการสร้างเอนไซม์ให้ย่อยแป้งที่เก็บสะสมอยู่ในเมล็ดพืชใบเลี้ยงเดี่ยว
5. ส่งเสริมให้เกิดการเสื่อมตามอายุ

นอกจากนี้กรดแอบไซซิกยังยับยั้งการเจริญและการยืดตัวของเซลล์

กรดแอบไซซิกกับการนำไปใช้

สารสังเคราะห์ที่มีสมบัติคล้ายกรดแอบไซซิกนั้น สามารถนำไปใช้เพื่อช่วยชะลอการเหี่ยวเฉาของพืชและไม้ดอกในขณะขนส่งโดยการทำให้รูปากใบแคบลงหรือรูปากใบปิด เพื่อลดการสูญเสียน้ำของพืช แต่ไม่เป็นที่นิยมเพราะมีราคาแพง

จากผลของฮอร์โมนพืชที่มีต่อการตอบสนองของพืชส่วนใหญ่พบว่า เกิดจากการทำงานของฮอร์โมนพืชมากกว่า 1 กลุ่ม เช่น

- การร่วงของใบ เป็นผลของออกซินและเอทิลีน ในใบอ่อนจะมีปริมาณออกซินสูงเนื่องจากอยู่ที่บริเวณแหล่งสร้าง ออกซินเป็นฮอร์โมนพืชที่ทำงานต้านกับเอทิลีน ดังนั้นออกซินที่มีปริมาณสูงจะยับยั้งการสร้างเอทิลีน แต่เมื่อใบมีอายุมากขึ้นปริมาณออกซินจะลดลงเป็นลำดับ จึงส่งผลให้ใบแก่สร้างเอทิลีนเพิ่มขึ้น
- การเจริญของตาข้าง เป็นผลของออกซินและไซโทไคนิน เกิดจากออกซินที่สร้างบริเวณยอดถูกส่งไปยังส่วนต่าง ๆ ของลำต้นไปยับยั้งการสร้างไซโทไคนินที่ตาข้าง เมื่อตาข้างที่ได้รับปริมาณออกซินสูงและมีปริมาณไซโทไคนินต่ำ เช่น ตาข้างบริเวณใกล้ยอดจะไม่เจริญ แต่ในบริเวณตาข้างที่อยู่ทางด้านล่างซึ่งจะได้รับปริมาณออกซินต่ำลง และมีไซโทไคนินสูง ตาข้างจึงเจริญได้ หรือในกรณีที่ตัดปลายยอดของพืชออกซึ่งเป็นการลดแหล่งสร้างออกซิน ทำให้ตาข้างที่อยู่ใกล้ยอดสามารถเจริญได้ เนื่องจากสัดส่วนของออกซินต่อไซโทไคนินต่ำ ทำให้ต้นพืชแตกกิ่งข้างออกเป็นพุ่ม

นอกจากฮอร์โมนพืชทั้ง 5 กลุ่ม คือ ออกซิน ไซโทไคนิน จิบเบอเรลลิน เอทิลีน และกรดแอบไซซิกแล้ว นักวิทยาศาสตร์ยังค้นพบฮอร์โมนพืชกลุ่มอื่น ๆ อีก เช่น **บราสซิโนสเตอรอยด์** (brassinosteroid) เกี่ยวข้องกับการแบ่งเซลล์ และ**สตริโกแลกโทน** (strigolactone) เกี่ยวข้องกับการยับยั้งการเจริญของตาข้าง เป็นต้น

ตรวจสอบความเข้าใจ

จงใส่เครื่องหมาย √ ลงในช่องชนิดของฮอร์โมนพืชที่เกี่ยวข้องกับหน้าที่ของสารควบคุมการเจริญเติบโตที่มีการใช้ในทางการเกษตร

หน้าที่ของสารควบคุมการเจริญเติบโต	ออกซิน	ไซโทไคนิน	จิบเบอเรลลิน	เอทิลีน	กรดแอบไซซิก
1. ชักนำให้เกิดยอดในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช					
2. เร่งการเกิดรากในกิ่งตอน					
3. ทำให้ผลไม้สุกเร็วขึ้น					
4. ทำให้ต้นไม้เตี้ยแคระ (การยับยั้ง)					
5. ใช้กำจัดวัชพืช					
6. กระตุ้นการไหลของน้ำยางพารา					
7. ยืดอายุการปักแจกันของไม้ตัดดอก เช่น กุหลาบ คาร์เนชัน (การยับยั้ง)					
8. กระตุ้นให้ปากใบปิด เพื่อลดการคายน้ำเมื่อพืชเริ่มขาดแคลนน้ำ					
9. กระตุ้นการเจริญเติบโตของเอ็มบริโอ					
10. กระตุ้นการงอกของเมล็ด					

หมายเหตุ การยับยั้ง หมายถึง ยับยั้งการทำงานของฮอร์โมนพืชชนิดนั้น ๆ

กิจกรรม 12.1 การใช้ประโยชน์จากสารสังเคราะห์ที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของฮอร์โมนพืช

จุดประสงค์

สืบค้นข้อมูลและนำเสนอเกี่ยวกับการใช้ประโยชน์จากสารสังเคราะห์ที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของฮอร์โมนพืชเพื่อใช้ในการเกษตร

วิธีการทำกิจกรรม

1. สืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับสารสังเคราะห์ที่มีสมบัติคล้ายฮอร์โมนพืชที่มีการนำมาใช้ในระยะต่าง ๆ ของพืช ในประเด็นต่อไปนี้
    - ชื่อทางการค้า
    - ชื่อกลุ่มฮอร์โมนพืชที่เกี่ยวข้อง
    - วิธีการนำไปใช้และระยะเวลาการเจริญเติบโตของพืชที่นำไปใช้
    - ผลของสารสังเคราะห์ที่มีต่อพืช
2. นำเสนอข้อมูลที่ได้ในรูปแบบต่าง ๆ ที่น่าสนใจ

คำถามท้ายกิจกรรม

? การเจริญเติบโตของพืชชนิดเดียวกันในแต่ละระยะต้องการสารสังเคราะห์ที่มีสมบัติคล้ายฮอร์โมนพืชที่แตกต่างกันอย่างไร

12.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการงอกของเมล็ด

จากการศึกษาฮอร์โมนพืชข้างต้นจะเห็นได้ว่า ฮอร์โมนพืชแต่ละกลุ่มจะมีบทบาทหน้าที่ช่วยกระตุ้น ยับยั้ง และส่งเสริมการเจริญเติบโตและการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของพืช ในกรณี**สภาพพักตัวของเมล็ด** (seed dormancy) พบว่าเมล็ดมีปริมาณกรดแอบไซซิกสูง และจิบเบอเรลลินต่ำ เมื่อพ้นระยะพักตัวกรดแอบไซซิกจะสลาย และมีการสร้างจิบเบอเรลลินเพิ่มขึ้น และเมื่อได้รับปัจจัยภายนอกที่เหมาะสมกับการงอก เมล็ดจะสามารถงอกได้ นอกจากนี้ยังพบว่ามีเมล็ดพืชบางชนิดที่มีสภาพพักตัวสั้นมากทำให้เมล็ดสามารถงอกได้ขณะที่อยู่ในผล เช่น ขนุน มะละกอ มะขามเทศ ลำไย และเมล็ดที่ไม่มีสภาพพักตัว เช่น โกงกาง ดังรูป 12.10



ขนุน



มะละกอ



มะขามเทศ



โกงกาง

รูป 12.10 เมล็ดพืชที่สามารถงอกได้ขณะที่อยู่ในผล

เมล็ดที่อยู่ในสภาพพักตัวอาจเกิดจากหลายสาเหตุ จะมีวิธีการอย่างไรเพื่อทำลายสภาพพักตัวของเมล็ด ซึ่งศึกษาได้จากการทำกิจกรรมต่อไปนี้

กิจกรรม 12.2 การทำลายสภาพพักตัวของเมล็ดมะเขือเทศ

จุดประสงค์

1. อธิบายเกี่ยวกับปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการงอกของเมล็ดและสภาพพักตัวของเมล็ด
2. อธิบายแนวทางในการทำลายสภาพพักตัวของเมล็ด

วัสดุและอุปกรณ์

1. ผลมะเขือเทศสุก
2. ทิชชู
3. จานเพาะเชื้อ
4. กระชอน
5. ช้อน
6. น้ำ

วิธีการทำกิจกรรม

1. นำเมล็ดมะเขือเทศจากผลสุกแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม
   กลุ่มที่ 1 เมล็ดที่ไม่ได้ล้างน้ำ
   กลุ่มที่ 2 เมล็ดที่ล้างน้ำ โดยนำเมล็ดใส่ในกระชอน เปิดน้ำให้ไหลผ่านและใช้ช้อนคนให้เมล็ดสะอาด ปราศจากเมือก ดังรูป



2. นำเมล็ดทั้งสองกลุ่ม กลุ่มละ 20 เมล็ด ไปเพาะในจานเพาะเชื้อที่มีทิชชูชุ่มน้ำ และเติมน้ำให้ทิชชูชุ่มน้ำอยู่ตลอดเวลา
3. เปรียบเทียบจำนวนเมล็ดที่งอกทั้งหมดในแต่ละวันเป็นระยะเวลา 5 วัน

คำถามท้ายกิจกรรม

? การงอกของเมล็ดมะเขือเทศทั้งสองกลุ่มแตกต่างกันหรือไม่อย่างไร

? เพราะเหตุใดการล้างเมล็ดจึงทำให้การงอกของเมล็ดมะเขือเทศทั้งสองกลุ่มแตกต่างกัน

จากกิจกรรม 12.2 การทำลายสภาพพักตัวของเมล็ดมะเขือเทศทำให้เมล็ดสามารถงอกได้เร็วขึ้น นอกจากเมล็ดมะเขือเทศแล้ว ยังมีเมล็ดพืชชนิดอื่น ๆ อีกที่มีสภาพพักตัวซึ่งมีสาเหตุและวิธีการทำลายสภาพพักตัวที่แตกต่างกัน

12.2.1 สาเหตุและวิธีการทำลายสภาพพักตัวของเมล็ด

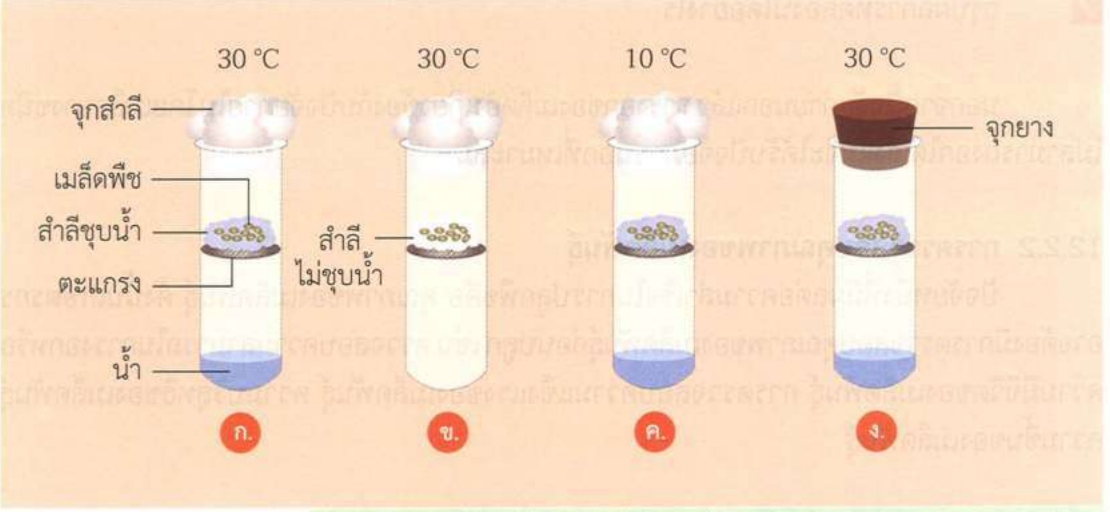
1. ส่วนห่อหุ้มเมล็ดมีความหนาหรือแข็ง ทำให้น้ำไม่สามารถผ่านเข้าสู่ภายในเมล็ดได้ ซึ่งในธรรมชาติจะมีการทำลายสภาพพักตัวได้หลากหลายวิธีดังนี้
   - การย่อยสลายของจุลินทรีย์ในดิน เช่น เมล็ดมะม่วง เมล็ดปาล์ม
   - การย่อยอาหารของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนมหรือนก และถ่ายมูลออกมา เช่น เมล็ดโพธิ์ เมล็ดไทร เมล็ดตะขบ
   - การถูกไฟเผาทำให้เปลือกเมล็ดแตกออก เช่น เมล็ดพืชวงศ์หญ้า เมล็ดพืชวงศ์ไผ่ เมล็ดตะเคียน เมล็ดสัก

   นอกจากนี้มนุษย์ยังมีวิธีการอื่น ๆ เพื่อช่วยทำลายสภาพพักตัวของเมล็ดที่มีความหนาหรือแข็ง เช่น การแช่เมล็ดในน้ำร้อน หรือสารละลายกรด การปาด การเฉือน การกระเทาะเปลือก การเผาหรือลนไฟ
2. เปลือกเมล็ดมีสารจำพวกไข คิวทิน ลิกนิน ซูเบอริน สะสมอยู่ที่ผนังเซลล์ของเปลือกเมล็ด ทำให้น้ำไม่สามารถซึมผ่านเข้าไปในเมล็ดได้ง่าย เช่น เมล็ดถั่วเขียว ถั่วเหลือง ถั่วแดง แตงโม วิธีการทำลายสภาพพักตัวโดยใช้การแช่เมล็ดในน้ำ น้ำจะเข้าสู่เมล็ดพืชทางไมโครไพล์ ทำให้เมล็ดพองและเปลือกเมล็ดแตก
3. เปลือกเมล็ดไม่ยอมให้แก๊สออกซิเจนแพร่ผ่าน ทำให้เกิดสภาพพักตัวในระยะสั้น ๆ เช่น เมล็ดพืชวงศ์หญ้าบางชนิด แต่เมื่อเก็บเมล็ดไว้ระยะหนึ่งก็สามารถนำไปเพาะได้ หรือใช้วิธีการทุบเพื่อให้เปลือกเมล็ดแตก ก็สามารถทำลายสภาพพักตัวของเมล็ดได้
4. เปลือกเมล็ดมีสารเคมีบางชนิดที่มีผลยับยั้งการงอกของเมล็ดจึงเกิดสภาพพักตัวของเมล็ด ซึ่งในธรรมชาติ เมื่อฝนตกลงมาจะชะล้างสารเคลือบที่เปลือกเมล็ดออก ทำให้เมล็ดสามารถงอกได้ นอกจากนี้มนุษย์สามารถทำลายสภาพพักตัวของเมล็ดเหล่านี้โดยการล้างสารเคลือบเมล็ดออก และผึ่งให้แห้ง จากนั้นจึงนำไปเพาะ เช่น เมล็ดมะเขือเทศ
5. ในเมล็ดพืชบางชนิดเอ็มบริโอยังเจริญไม่เต็มที่ เช่น มะพร้าว หมาก ปาล์มน้ำมัน อยู่ในสภาพพักตัวที่ต้องรอระยะเวลาให้เอ็มบริโอของเมล็ดเจริญพัฒนาเต็มที่ เมล็ดจึงจะสามารถงอกได้

? ความรู้เกี่ยวกับสาเหตุสภาพการพักตัวของเมล็ดสามารถนำไปใช้ในการเพาะเมล็ดให้งอกเร็วขึ้นได้อย่างไร

? เมล็ดที่มีสภาพพักตัวนานกับเมล็ดที่ไม่มีสภาพพักตัวจะมีข้อได้เปรียบหรือข้อเสียเปรียบในการขยายพันธุ์อย่างไร

สำหรับเมล็ดที่มีสภาพของเมล็ดสมบูรณ์ เอ็มบริโอและเอนโดสเปิร์มเจริญดี และได้รับน้ำหรือความชื้น ออกซิเจน อุณหภูมิ และแสง เมล็ดก็สามารถงอกได้ ซึ่งปัจจัยภายนอกที่มีผลต่อการงอกของเมล็ด สามารถศึกษาได้จากการทดลอง ดังรูป 12.11



รูป 12.11 การทดลองปัจจัยภายนอกที่มีผลต่อการงอกของเมล็ดพืชชนิดหนึ่ง

จากการทดลองผู้ทดลองได้สังเกต และบันทึกผลการทดลองดังตาราง 12.1

ตาราง 12.1 ผลการทดลองปัจจัยภายนอกที่มีผลต่อการงอกของเมล็ดพืชชนิดหนึ่ง

หลอดทดลอง	ปัจจัยภายนอก			ผลการทดลอง
	น้ำ	อุณหภูมิ (°C)	อากาศ	
ก	มี	30	มี	งอก
ข	ไม่มี	30	มี	ไม่งอก
ค	มี	10	มี	ไม่งอก
ง	มี	30	ไม่มี	ไม่งอก

? หลอดทดลองใดเป็นชุดควบคุม
? ตัวแปรต้นของแต่ละการทดลองนี้คืออะไร
? ปัจจัยที่มีผลต่อการงอกของเมล็ดพืชชนิดนี้คืออะไร
? สรุปผลการทดลองนี้ได้อย่างไร

นอกจากปัจจัยภายนอกแล้ว การงอกของเมล็ดยังเกี่ยวข้องกับปัจจัยภายใน โดยเมล็ดบางชนิดไม่สามารถงอกได้ ถึงแม้จะได้รับปัจจัยภายนอกที่เหมาะสม

12.2.2 การตรวจสอบคุณภาพของเมล็ดพันธุ์

ปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อความสำเร็จในการปลูกพืชคือ คุณภาพของเมล็ดพันธุ์ ดังนั้นเกษตรกรอาจต้องมีการตรวจสอบคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ก่อนปลูก เช่น ตรวจสอบความสามารถในการงอกหรือความมีชีวิตของเมล็ดพันธุ์ การตรวจสอบความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ ความบริสุทธิ์ของเมล็ดพันธุ์ ความชื้นของเมล็ดพันธุ์

การตรวจสอบคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ อาจใช้ดัชนีการงอกของเมล็ดพันธุ์ ซึ่งเมล็ดพันธุ์ที่มีความแข็งแรงมากสามารถงอกได้เร็วกว่าเมล็ดพันธุ์ที่มีความแข็งแรงน้อย วิธีการวัดดัชนีการงอกทำได้โดยการนำตัวอย่างเมล็ดพันธุ์จากแหล่งที่ต้องการตรวจสอบมาเพาะแล้วนับจำนวนเมล็ดที่งอกจนไม่มีเมล็ดงอกเพิ่มขึ้นอีก จากนั้นนำมาคำนวณหาค่าดัชนีการงอก โดยเปรียบเทียบกับเมล็ดพันธุ์พืชชนิดเดียวกันจากแหล่งอื่น ๆ

$$\text{สูตร ดัชนีการงอกของเมล็ดพันธุ์} = \text{ผลบวกของ}\left\{\frac{\text{จำนวนต้นกล้าที่งอกในแต่ละวัน}}{\text{จำนวนวันหลังจากเพาะเมล็ด}}\right\}$$

ในการศึกษาการงอกของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองจากแหล่งต่าง ๆ แหล่งละ 100 เมล็ด ได้ข้อมูลดังตาราง 12.2

ตาราง 12.2 ผลการศึกษาการงอกของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองที่ได้จากแหล่งต่างกัน 3 แหล่ง

เมล็ดพันธุ์	จำนวนเมล็ดที่งอกในแต่ละวัน							ดัชนีการงอกของเมล็ดพันธุ์
	วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 3	วันที่ 4	วันที่ 5	วันที่ 6	วันที่ 7	
แหล่งที่ 1	-	-	-	25	20	25	-	
แหล่งที่ 2	-	-	40	20	30	-	-	
แหล่งที่ 3	-	15	30	40	8	2	-	

? เมื่อเพาะเมล็ดพันธุ์ครบ 7 วัน เมล็ดพันธุ์แต่ละแหล่งมีค่าดัชนีการงอกเป็นเท่าใด

? เกษตรกรไม่ควรเลือกเมล็ดพันธุ์จากแหล่งใดมาเพาะปลูก เพราะเหตุใด

การงอกของเมล็ดพืช เมื่อเมล็ดแห้งรับน้ำเข้าไปทำให้เกิดแรงดัน เปลือกเมล็ดแตกออก เกิดกระบวนการเมแทบอลิซึม เกิดการขยายตัวของเอ็มบริโอ และแรดิเคิลแทงออกมาจากเปลือกเมล็ด ในเมล็ดพืชใบเลี้ยงเดี่ยว พบว่า เอ็มบริโอจะสร้างจิบเบอเรลลินไปกระตุ้นให้เกิดการสร้างเอนไซม์ย่อยแป้งที่เก็บสะสมอยู่ในเมล็ดให้เป็นน้ำตาล เพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานสำหรับการเจริญของต้นกล้าต่อไป

12.3 การตอบสนองของพืชในลักษณะการเคลื่อนไหว

ต้นกล้าที่งอกออกมาจากเมล็ดจะตอบสนองในรูปแบบของการเคลื่อนไหวต่อสิ่งแวดล้อมภายนอก เช่น แสง แรงโน้มถ่วงของโลก โดยถ้าทิศทางการตอบสนองสัมพันธ์กับทิศทางของสิ่งเร้าภายนอก เรียกว่า การเบนหรือ**ทรอพิซึม** (tropism) เช่น การโค้งเข้าหาแสงของยอดพืช ส่วนการตอบสนองที่มีทิศทางไม่สัมพันธ์กับทิศทางของสิ่งเร้าภายนอก เรียกว่า **แนสติกมูฟเมนต์** (nastic movement) เช่น การหุบและการบานของดอกบัวสายสีขาว (*Nymphaea alba*)

12.3.1 ทรอพิซึม

เป็นการตอบสนองของพืชต่อสิ่งแวดล้อมที่มีทิศทางสัมพันธ์กับสิ่งเร้าภายนอกเพื่อการสร้างรูปแบบการเจริญเติบโตที่เหมาะสม มี 2 แบบ คือ การเบนเข้าหาสิ่งเร้า (positive tropism) และการเบนออกจากสิ่งเร้า (negative tropism)

การเบนเนื่องจากแสง (phototropism) เป็นการตอบสนองที่มีทิศทางสัมพันธ์กับทิศทางของแสง เช่น การเจริญของปลายยอดพืชจากการเบนเข้าหาแสง (positive phototropism) ดังรูป 12.12 และสามารถศึกษาได้จากการทำกิจกรรมเสนอแนะ



รูป 12.12 ต้นคุณนายตื่นสายเจริญเข้าหาแสง

กิจกรรมเสนอแนะ : การเบนเนื่องจากแสง

จุดประสงค์

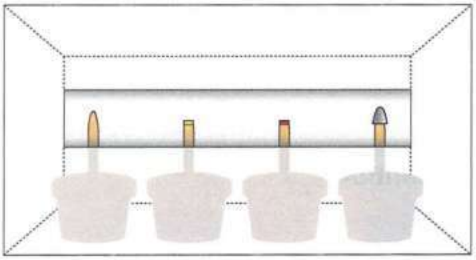
1. ทดลอง และเปรียบเทียบการตอบสนองต่อแสงของปลายโคลีออพไทล์ของพืช
2. วิเคราะห์ อภิปราย และสรุปการเบนเข้าหาแสงของโคลีออพไทล์ของพืช

วัสดุและอุปกรณ์

1. ข้าวโพดที่ปลูกในที่มืด อายุประมาณ 3-4 วัน
2. กระถาง
3. กล่องกระดาษทึบ ที่เปิดให้แสงเข้าด้านเดียว
4. วาสลีนหรือลาโนลิน
5. วาสลีนหรือลาโนลิน ผสมสารสังเคราะห์ที่มีส่วนผสมของออกซิน ความเข้มข้น 0.1%
6. วัสดุปลูก เช่น ทราย ดิน
7. อะลูมิเนียมฟอยล์
8. ใบมีดโกน

วิธีการทำกิจกรรม

1. นำต้นข้าวโพดที่ปลูกในที่มืดอายุประมาณ 3-4 วัน และมีโคลีออพไทล์ตั้งตรง ความสูงใกล้เคียงกัน จำนวน 4 ต้น ปลูกลงในกระถาง โดยการปลูกเรียงเป็นแถว ดังนี้



ต้นที่ 1 ต้นข้าวโพดปกติ
ต้นที่ 2 ตัดปลายโคลีออพไทล์ ออกประมาณ 3 mm ทาวาสลีนหรือลาโนลินที่รอยตัด
ต้นที่ 3 ตัดปลายโคลีออพไทล์ ออกประมาณ 3 mm ทาวาสลีนหรือลาโนลินผสมสารสังเคราะห์ที่มีส่วนผสมของออกซิน ความเข้มข้น 0.1%
ต้นที่ 4 ใช้อะลูมิเนียมฟอยล์หุ้มส่วนปลายโคลีออพไทล์

2. วางกระถางในกล่องกระดาษทึบ ที่มีช่องให้แสงผ่านเข้าได้ทางด้านหน้าของกล่อง และตั้งไว้ริมหน้าต่างที่มีแสงแดดส่องถึงประมาณ 1-2 ชั่วโมง ดังรูป และสังเกตลักษณะของโคลีออพไทล์ของต้นข้าวโพดทั้ง 4 ต้น ก่อนการทดลองและหลังการทดลอง

คำถามท้ายกิจกรรม

? เพราะเหตุใดจึงต้องเพาะเมล็ดข้าวโพดในที่มืด

? ลักษณะของโคลีออพไทล์ของต้นข้าวโพดทั้ง 4 ต้น มีการตอบสนองต่อแสงเหมือนกันหรือต่างกันอย่างไร

การเบนเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (gravitropism) เป็นการตอบสนองที่มีทิศทางสัมพันธ์กับทิศทางของแรงโน้มถ่วงของโลก เช่น การเจริญของปลายรากพืชจากการเบนเข้าหาแรงโน้มถ่วงของโลก (positive gravitropism) และการเจริญของปลายยอดพืชจากการเบนหนีแรงโน้มถ่วงของโลก (negative gravitropism) ซึ่งสามารถศึกษาได้จากการทำกิจกรรม 12.3

กิจกรรม 12.3 การเบนเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก

จุดประสงค์

ทดลอง และอธิบายการตอบสนองต่อแรงโน้มถ่วงของโลกของปลายรากพืช

วัสดุและอุปกรณ์

1. เมล็ดถั่วเขียว เมล็ดถั่วดำ เมล็ดข้าวโพด เลือกเมล็ดอย่างใดอย่างหนึ่ง
2. กล่องพลาสติกพร้อมฝาปิดกล่อง
3. จานเพาะเชื้อ
4. ใบมีดโกน
5. ทิชชู
6. เทปใส
7. น้ำ

วิธีการทำกิจกรรม

1. นำเมล็ดพืชที่เลือกไว้ จำนวน 20 เมล็ด ไปแช่น้ำ 1 คืน
2. นำเมล็ดพืชวางบนทิชชูชุ่มน้ำในกล่องพลาสติกและปิดฝากล่อง จากนั้นเก็บไว้ในที่มืด เป็นเวลา 2-3 วัน จนกระทั่งสังเกตส่วนที่โผล่ออกมาจากเปลือกเมล็ดยาวประมาณ 2 cm
3. เลือกเมล็ดพืชที่มีรากตรง จำนวน 10 เมล็ด โดยแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มละ 5 เมล็ด
   กลุ่มที่ 1 เมล็ดพืชที่ไม่ได้ตัดปลายรากออก
   กลุ่มที่ 2 เมล็ดพืชที่ตัดปลายรากออก ประมาณ 2 mm
4. นำเมล็ดพืชทั้งสองกลุ่มวางเรียงในจานเพาะเชื้อ และใช้ทิชชูชุ่มน้ำปิดลงบนเมล็ดพืช ปิดฝาจานเพาะเชื้อ และใช้เทปใสติดฝาจานเพาะเชื้อทั้งสองด้านให้ติดกัน จากนั้นนำจานเพาะเชื้อทั้งสองจานไปวางในที่มืดให้ตั้งฉากกับพื้น โดยให้ทิศทางของรากอยู่ในแนวขนานกับพื้น ดังรูป และสังเกตการเปลี่ยนแปลงต่อไปอีก 3-4 วัน พร้อมบันทึกผล



คำถามท้ายกิจกรรม

- ? การโค้งของรากเกิดจากสาเหตุใด
- ? เมล็ดพืชทั้งสองกลุ่มมีการตอบสนองต่อแรงโน้มถ่วงของโลกเหมือนกันหรือแตกต่างกันอย่างไร

จากการทำกิจกรรม 12.3 จะเห็นได้ว่าเมล็ดพืชที่ยังมีปลายรากอยู่ สามารถโค้งตอบสนองต่อแรงโน้มถ่วงของโลก เนื่องจากเมื่อรากอยู่ในแนวนอน ปลายรากด้านบนและด้านล่างมีการกระจายของปริมาณออกซินไม่เท่ากัน โดยออกซินจะลำเลียงไปสู่ปลายรากด้านล่างมากกว่าด้านบน จึงส่งผลยับยั้งการขยายตัวตามยาวของเซลล์ เนื่องจากออกซินที่ความเข้มข้นสูงจะยับยั้งการเจริญเติบโตของราก ส่วนเมล็ดพืชที่ตัดปลายรากไม่โค้งเนื่องจากขาดตัวรับแรงโน้มถ่วงของโลกซึ่งอยู่ที่บริเวณปลายราก

นอกจากนี้พืชยังมีการตอบสนองต่อสิ่งแวดล้อมที่มีทิศทางสัมพันธ์กับทิศทางของสิ่งเร้าภายนอกอีก เช่น

การตอบสนองต่อสารเคมี (chemotropism) เช่น การงอกของหลอดเรณูไปยังออวุลของพืชดอกซึ่งมีสารกลุ่มโปรตีนที่ออวุลสร้างขึ้นเพื่อกำหนดทิศทางการงอกของหลอดเรณูไปยังออวุล

การตอบสนองต่อน้ำ (hydrotropism) เช่น รากพืชเจริญเข้าหาน้ำหรือความชื้น

การตอบสนองต่อการสัมผัส (thigmotropism) เช่น การเกี่ยวพันของมือเกาะตำลึง แตงกวา กะทกรก องุ่น ดังรูป 12.13

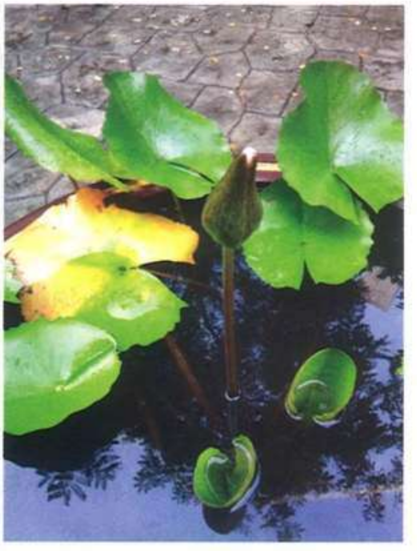


รูป 12.13 การเกี่ยวพันของมือเกาะตำลึง

12.3.2 แนสติกมูฟเมนต์

เป็นการตอบสนองของพืชต่อสิ่งแวดล้อมโดยมีทิศทางไม่สัมพันธ์กับทิศทางของสิ่งเร้าภายนอก โดยการตอบสนองนี้อาจเป็นการเจริญเติบโตไม่เท่ากันของส่วนต่าง ๆ เช่น การบานของดอกกุหลาบ หรือการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำภายในเซลล์ทำให้เกิด**แรงดันเต่ง** (turgor pressure) ของพืช เช่น การหุบและการบานของดอกบัวสายสีขาวจากการตอบสนองต่อแสง เมื่อดอกบัวบาน เกิดจากกลุ่มเซลล์ด้านในของกลีบดอกขยายขนาดมากกว่าด้านนอก และในทางตรงกันข้ามถ้ากลุ่มเซลล์ด้านนอกของกลีบดอกขยายขนาดมากกว่าด้านในก็จะทำให้ดอกบัวหุบ ดังรูป 12.14


ดอกบาน

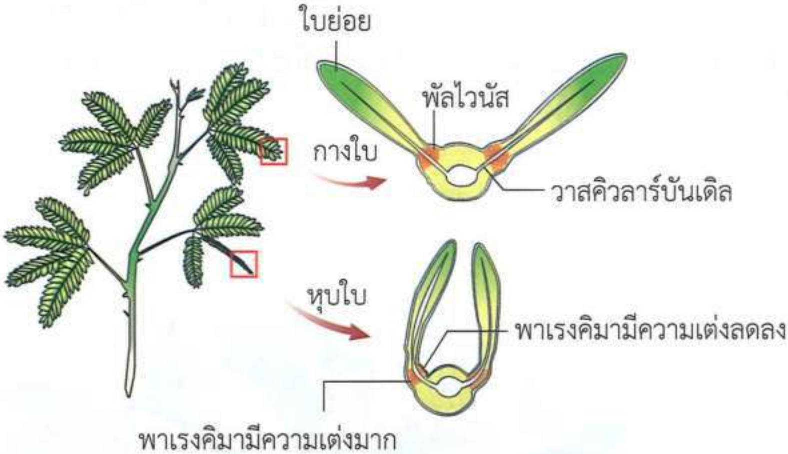

ดอกหุบ

รูป 12.14 การบานและการหุบของดอกบัวสายสีขาว

? ยกตัวอย่างการเคลื่อนไหวของพืชที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงแรงดันเต่ง นอกเหนือจากการบานและการหุบของดอกบัวสายสีขาว

นอกจากการบานและการหุบของดอกบัวบางชนิดแล้วยังพบว่า การหุบของใบไมยราบที่ตอบสนองต่อการสัมผัสก็จัดเป็นการตอบสนองแบบแนสติกมูฟเมนต์ โดยที่โคนก้านใบของไมยราบมีลักษณะพองออกเป็นกระเปาะเรียกว่า **พัลไวนัส** (pulvinus) ประกอบด้วยกลุ่มเซลล์ที่มีขนาดใหญ่ผนังบาง มีความไวสูงต่อสิ่งเร้าที่มากระตุ้น เช่น การสัมผัส การกระตุ้นดังกล่าวจะมีผลทำให้แรงดันเต่งของเซลล์กลุ่มนี้เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว คือ เซลล์จะสูญเสียน้ำให้กับเซลล์ข้างเคียงใบจึงหุบทันที เมื่อเวลาผ่านไปน้ำจากเซลล์ข้างเคียงจะแพร่กลับเข้ามาในเซลล์อีกครั้งหนึ่งทำให้เซลล์เต่งและใบกางออกดังเดิม ดังรูป 12.15





รูป 12.15 การกางใบและการหุบใบโดยพัลไวนัสที่โคนก้านใบย่อยของไมยราบ

ตรวจสอบความเข้าใจ

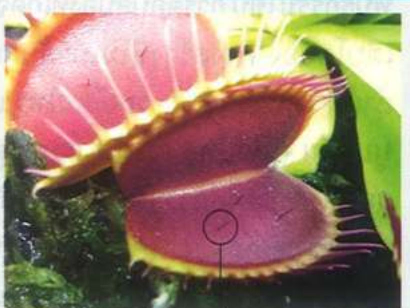
? เพราะเหตุใดพืชต้องมีการตอบสนองต่อสิ่งเร้า เช่น แสง แรงโน้มถ่วงของโลก

การตอบสนองของพืชบางอย่างเป็นการตอบสนองที่ไม่ได้มาจากสิ่งเร้าภายนอก แต่เป็นผลมาจากธรรมชาติของพืชที่ควบคุมโดยพันธุกรรม เช่น การตอบสนองที่เกิดจากการเจริญเติบโตของโครงสร้างที่ไม่เท่ากันสองด้าน เช่น ลำต้น ใบ เรียกว่า การเคลื่อนไหวแบบส่ายหรือ **นูเทชัน** (nutation) เช่น การหมุนแกว่งของยอดพืชขณะที่มีการจริญเติบโตที่ปลายยอดพืช ยอดพืชทุกชนิดมีการเคลื่อนไหวแบบนูเทชัน แต่จะเห็นได้ชัดเจนในพืชที่มีลำต้นพันหลัก

ความรู้เพิ่มเติม

กาบหอยแครง (*Dionea muscipula*) เป็นพืชกินแมลง โดยมีใบที่เปลี่ยนรูปไปมีลักษณะคล้ายกาบหอย แต่ละใบมี 2 ส่วน เชื่อมกันด้วยบานพับซึ่งส่วนใหญ่เป็นวาสคิวลาร์บันเดิล มีน้ำหวานที่หลั่งออกมาจากเซลล์เอพิเดอร์มิสทำหน้าที่ดึงดูดและจับแมลงแล้วย่อยโปรตีนด้วยเอนไซม์ให้เป็นกรดแอมิโนและดูดซึมเข้าสู่ใบ การตอบสนองต่อสิ่งเร้าของกาบหอยแครงจัดเป็นการตอบสนองแบบแนสติกมูฟเมนต์ โดยที่บริเวณด้านในของใบจะมีขนที่มีความไวต่อการสัมผัส เมื่อมีสิ่งเร้ามาสัมผัสจะกระตุ้นใบทั้งสองด้านหุบเข้าหากัน ขอบใบจะมีหนามยาวกั้นไม่ให้แมลงที่อยู่ในกับดักหลุดออกมาได้







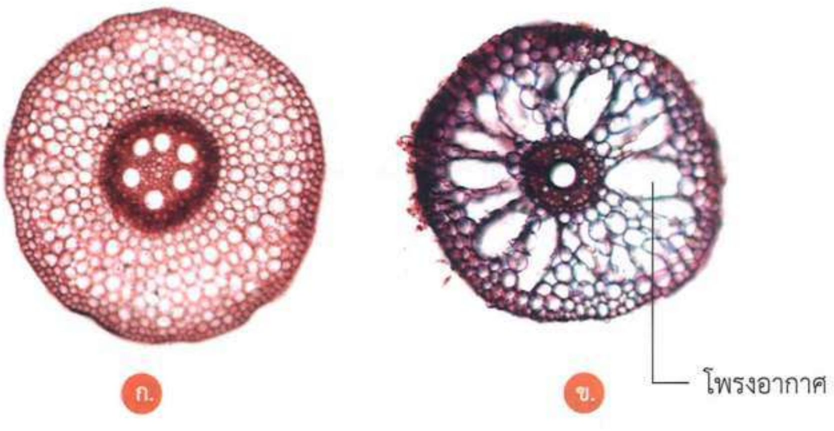
12.4 การตอบสนองต่อภาวะเครียด

พืชโดยทั่วไป มีการตอบสนองต่อสิ่งเร้าภายในและสิ่งเร้าภายนอก เพื่อทำให้พืชอยู่ในภาวะสมดุลมีการเจริญเติบโต และดำรงชีวิตเป็นไปตามวัฏจักรของพืช แต่เมื่อใดก็ตามสิ่งเร้าภายนอกที่พืชได้รับมีมากหรือน้อยเกินไปจนส่งผลกระทบทำให้ไม่สามารถเติบโตเต็มที่ตามศักยภาพทางพันธุกรรม นั่นแสดงว่าพืชอยู่ใน**ภาวะเครียด** (stress) **พืชมีการตอบสนองต่อภาวะเครียดที่เกิดจากสิ่งเร้าภายนอกซึ่งมีทั้งสิ่งเร้าทางกายภาพ และสิ่งเร้าทางชีวภาพต่าง ๆ ได้อย่างไร**

12.4.1 ภาวะเครียดจากสิ่งเร้าทางกายภาพ

น้ำ

เมื่อพืชอยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีน้ำท่วมขังทำให้ช่องว่างในดินเต็มไปด้วยน้ำ ไม่มีช่องว่างสำหรับแก๊สออกซิเจนเพื่อใช้ในการหายใจระดับเซลล์ รากพืชจะหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนและได้เอทานอล เมื่อพืชทนอยู่ในภาวะแบบนี้เป็นระยะเวลานาน ๆ จะมีอาการใบเหลือง และยังกระตุ้นการสร้างเอทิลีนในปริมาณที่สูงกว่าปกติทำให้ใบ ดอก และผล เกิดการหลุดร่วง และตายในที่สุด แต่ก็พบว่าพืชบางชนิดมีการปรับตัวเพื่อให้อยู่รอด เช่น การสร้างโพรงอากาศในรากซึ่งเกิดจากการสลายกลุ่มเซลล์พาเรงคิมาบางส่วนในคอร์เทกซ์เกิดเป็นช่องว่างขนาดใหญ่ระหว่างเซลล์ช่วยในการถ่ายเทอากาศที่ราก ดังรูป 12.16 ข.



รูป 12.16 รากข้าวโพดตัดตามขวาง
ก. รากข้าวโพดอยู่ในสภาพดินทั่วไป
ข. รากข้าวโพดจมอยู่ในสภาพน้ำท่วมขัง

เมื่อพืชขาดน้ำ จะทำให้แรงดันเต่งลดลง ดังนั้นพืชจะมีการปรับตัวเพื่อลดการสูญเสียน้ำ เช่น ข้าวจะเกิดการม้วนใบ ดังรูป 12.17 เพื่อลดพื้นที่ผิวด้านที่มีปากใบที่สัมผัสกับอากาศ หรือสร้างขนเพิ่มขึ้น และมีคิวทิเคิลหนาขึ้น เพื่อช่วยลดการคายน้ำ พืชอาจมีการสร้างและสะสมสารอินทรีย์บางชนิดในไซโทซอล เพื่อปรับชลศักย์ของเซลล์ให้ต่ำลงทำให้น้ำเข้าสู่เซลล์ได้ รวมทั้งเกิดการกระตุ้นให้สร้างกรดแอบไซซิก ซึ่งมีผลทำให้ปากใบปิดเพื่อลดการสูญเสียน้ำ รวมทั้งกระตุ้นการทำงานของโปรตีนชนิดต่าง ๆ ที่จะทำให้พืชทนทานต่อภาวะขาดน้ำได้ นอกจากนี้ในพืชบางชนิด เช่น สับปะรดเมื่ออยู่ในภาวะขาดน้ำจะเปลี่ยนกลไกการตรึงคาร์บอนแบบพืช C_3 เป็นแบบพืช CAM ทำให้ประสิทธิภาพในการใช้น้ำดีขึ้น



รูป 12.17 การม้วนของใบข้าวที่ตอบสนองต่อการขาดน้ำ

อุณหภูมิ

เมื่ออุณหภูมิของสภาพแวดล้อมสูงขึ้นทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศลดลง พืชจะมีอัตราการคายน้ำเพิ่มมากขึ้นซึ่งเป็นกลไกในการช่วยรักษาระดับอุณหภูมิของใบไม่ให้สูงเกินไปเพื่อรักษาสภาพการทำงานของเซลล์ให้เป็นปกติ แต่หากได้รับอุณหภูมิสูงเกินไป พืชสามารถป้องกันการเสียสภาพของโปรตีนในเซลล์โดยการทำงานของ**ฮีทช็อคโปรตีน** (heat-shock protein) ซึ่งจะถูกกระตุ้นเมื่อพืชได้รับความร้อน โดยจะช่วยรักษาโครงสร้างของโปรตีนชนิดอื่นให้สามารถทำงานได้

เมื่ออุณหภูมิของสภาพแวดล้อมต่ำลงมาก จะทำให้เยื่อหุ้มเซลล์สูญเสียสมบัติการเป็นของไหล พืชจะมีการปรับโครงสร้างของเยื่อหุ้มเซลล์ให้มีสัดส่วนของกรดไขมันไม่อิ่มตัวมากขึ้น ทำให้เยื่อหุ้มเซลล์ยังคงมีสมบัติในการเป็นของไหลอยู่ และเมื่ออุณหภูมิต่ำลงจนน้ำภายในเซลล์กลายเป็นผลึก พืชจะสร้าง**แอนทิฟรีซโปรตีน** (antifreeze protein) เพื่อช่วยป้องกันและลดการเกิดผลึกภายในเซลล์

ความเค็ม

เมื่อพืชอยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีความเค็มสูง ทำให้พืชขาดน้ำ เนื่องจากสารละลายในดินมีปริมาณเกลือมากจึงมีความเข้มข้นสูงกว่าสารละลายภายในเซลล์ราก ทำให้ชลศักย์ในดินต่ำกว่าชลศักย์ในราก น้ำจึงเคลื่อนที่ออกจากรากสู่ดิน พืชมีการตอบสนองต่อภาวะเครียดจากความเค็มคล้ายกับการตอบสนองต่อภาวะขาดน้ำ นอกจากนี้พืชอาจจะได้รับไอออนของเกลือที่มีอยู่ในสารละลายดินเข้าไปสะสมภายในเซลล์เป็นปริมาณมากทำให้เป็นพิษต่อเซลล์ พืชบางชนิดมีกลไกลดการนำโซเดียมไอออนจากดินเข้าสู่ราก หรือมีการกระตุ้นให้โปรตีนบางชนิดขับเกลือออกจากเซลล์หรือเก็บไว้ในแวคิวโอล ถ้าพืชต้องอยู่ในภาวะเครียดจากความเค็มเป็นระยะเวลานาน พืชก็จะตายลง ยกเว้น **พืชดินเค็ม** (halophyte) เช่น แสม ชะคราม ผักบุ้งทะเล สามารถเจริญเติบโตเป็นปกติในดินเค็มจัดได้เพราะมีความสามารถในการรับโซเดียมไอออนได้สูงกว่าพืชทั่วไป

12.4.2 ภาวะเครียดจากสิ่งเร้าทางชีวภาพ

พืชมีวิธีการป้องกันจากการถูกสัตว์กัดกินหรือจุลินทรีย์ก่อโรคเข้าทำลาย ดังนี้

- การป้องกันเชิงกล เช่น การมีขนบนใบและลำต้น การมีหนาม ทำให้ยากต่อการเข้าทำลายจากสัตว์ ผนังเซลล์มีซิลิกาทำให้เนื้อเยื่อพืชมีความแข็งแรงทนต่อการกัดกินของแมลง ภายในเซลล์มีผลึกแคลเซียมออกซาเลตในแวคิวโอล ทำให้เกิดการระคายเคืองต่อหลอดอาหารของสัตว์กินพืช
- การป้องกันเชิงเคมี โดยพืชสร้างสารเคมีบางชนิด เช่น คาเฟอีนในต้นชาหรือกาแฟ น้ำยางพารา ช่วยป้องกันการเข้าทำลายของสัตว์กินพืช และยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ นอกจากนี้ในพืชบางชนิดเมื่อถูกสัตว์หรือจุลินทรีย์ก่อโรคเข้าทำลาย จะกระตุ้นให้พืชสร้างโปรตีนบางชนิดที่มีผลยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์หรือยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ของสัตว์กินพืชชนิดนั้น

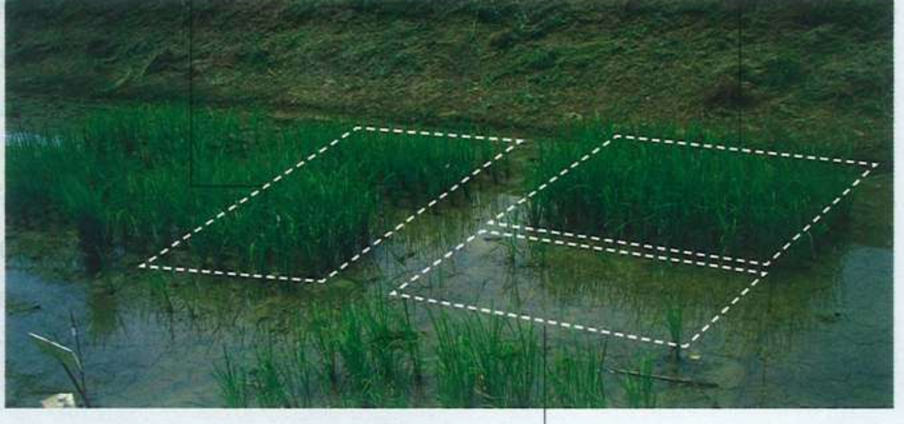
ความรู้เพิ่มเติม

ข้าวทนน้ำท่วมฉับพลัน

จากความร่วมมือวิจัยและพัฒนาของสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) กรมการข้าว และมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ทำให้ประเทศไทยมีพันธุ์ข้าว กข 51 ที่ทนทานต่อสภาพน้ำท่วมฉับพลัน และมีคุณภาพการหุงต้มที่หอม โดยการนำพันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่มีเอกลักษณ์ด้านคุณภาพการหุงต้มดี จนได้รับรางวัลชนะเลิศจากการประกวดข้าวดีเด่นโลกว่าเป็นข้าวที่มีรสชาติดีที่สุดในโลก มาผสมพันธุ์กับข้าวสายพันธุ์ IR49830-7-1-2-2 ที่ทนทานต่อน้ำท่วม

สายพันธุ์ IR49830-7-1-2-2 (สายพันธุ์ทนทานต่อน้ำท่วม)

พันธุ์ กข 51 (พันธุ์ทนทานต่อสภาพน้ำท่วมฉับพลัน)



พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 (พันธุ์อ่อนแอ)

ความรู้เพิ่มเติม

ถั่วลิสงทนแล้ง

มหาวิทยาลัยขอนแก่น คณะเกษตรศาสตร์ ภาควิชาพืชศาสตร์และทรัพยากรการเกษตร ได้ศึกษาวิจัยการปรับปรุงพันธุ์ถั่วลิสงให้ทนแล้ง มีขั้นตอนดังนี้ 1) การคัดเลือกสายพันธุ์ทนแล้งที่จะนำไปใช้เป็นพ่อพันธุ์หรือแม่พันธุ์พบว่า เมื่ออยู่ในภาวะแล้ง พันธุ์ที่มีการปรับตัวเพื่อลดภาวะเครียดจากการขาดน้ำโดยการหรี่ของรูปากใบเพื่อลดการคายน้ำ ลดขนาดและเพิ่มความหนาของใบ รักษาปริมาณคลอโรฟิลล์ ความชื้นสัมพัทธ์ของใบ และเพิ่มศักยภาพในการหาน้ำโดยการปรับตัวของรากเพื่อหยั่งลึกขึ้น รากมีขนาดเล็กลง แต่มีพื้นที่ผิวมากขึ้น จึงมีพื้นที่ดูดซับน้ำเพิ่มขึ้น เมื่อได้สายพันธุ์ที่ทนแล้งจึงนำไปผสมกับสายพันธุ์ที่มีผลผลิตสูง และมีคุณภาพดีจะได้สายพันธุ์ลูกผสม 2) การคัดเลือกสายพันธุ์ลูกผสมที่มีผลผลิตสูง คุณภาพดี และมีลักษณะที่เกี่ยวข้องกับการทนแล้ง 3) การนำสายพันธุ์ลูกผสมที่เลือกไว้มาทดสอบผลผลิตและเลือกสายพันธุ์ที่ผลผลิตสูง คุณภาพดี มีความสามารถในการรักษาระดับผลผลิต และคุณภาพเมื่ออยู่ในภาวะแล้ง 4) การแนะนำสายพันธุ์ถั่วลิสงทนแล้งให้เกษตรกรปลูก



รากถั่วลิสงสายพันธุ์ทนแล้ง

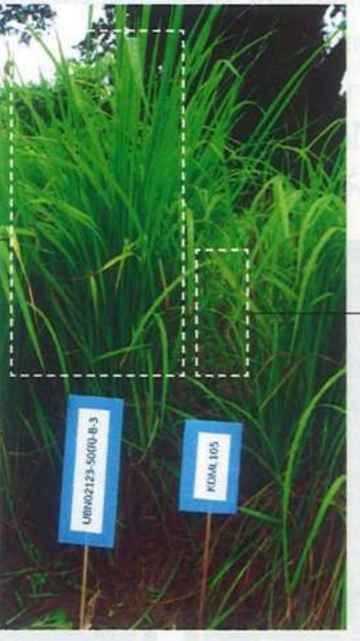


รากถั่วลิสงสายพันธุ์ไม่ทนแล้ง

ความรู้เพิ่มเติม

ข้าวทนดินเค็ม

จากความร่วมมือของศูนย์วิจัยข้าวนครราชสีมา กองวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว และสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) ได้ศึกษาวิจัยและพัฒนาข้าวพันธุ์ กข73 ซึ่งเป็นข้าวเจ้าหอม ทนดินเค็ม และต้านทานโรคไหม้ ที่ได้จากการผสมพันธุ์ข้าวระหว่าง พันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่มีกลิ่นหอม คุณภาพการหุงต้มดี กับข้าวสายพันธุ์ IR66946-196-3R-1-1 ที่มีลักษณะทนทานต่อดินเค็มและต้านทานโรคไหม้



สรุปเนื้อหาภายในบทเรียน

1. พืชมีกระบวนการตอบสนองต่อฮอร์โมนพืชเมื่อได้รับสิ่งเร้าภายนอกมากระตุ้นหรืออาจเกิดจากการควบคุมโดยพันธุกรรมของพืช

2. ออกซินมีผลทำให้เกิดการเจริญของปลายยอดเข้าหาแสง การเจริญของปลายรากเข้าหาแรงโน้มถ่วงของโลก กระตุ้นเซลล์บริเวณที่มีการยืดตัวให้ขยายขนาด กระตุ้นการแบ่งเซลล์ของแคมเบียม โดยทำงานร่วมกับไซโทไคนิน กระตุ้นเซลล์ให้พัฒนาและเปลี่ยนสภาพไปเป็นเนื้อเยื่อไซเล็มและโฟลเอ็ม ยับยั้งการเจริญของตาข้าง

3. ไซโทไคนินมีผลทำให้กระตุ้นการแบ่งเซลล์ การเปลี่ยนสภาพของเซลล์ กระตุ้นการเจริญของตาข้าง กระตุ้นการเจริญเติบโตของเอ็มบริโอ การพัฒนาของแกมีโทไฟต์

4. จิบเบอเรลลินมีผลทำให้กระตุ้นการงอกของเมล็ด กระตุ้นการสร้างเอนไซม์สำหรับย่อยแป้งที่เก็บสะสมอยู่ในเมล็ดให้เป็นน้ำตาล กระตุ้นเซลล์ที่ลำต้นพืชให้มีการยืดตัวและแบ่งเซลล์มากขึ้น โดยทำงานร่วมกับออกซิน

5. เอทิลีนมีผลทำให้ส่งเสริมใบและดอกเข้าสู่การเสื่อมตามอายุ กระตุ้นให้เกิดการร่วงของใบ ดอก และผล กระตุ้นการสุกของผลไม้ที่สามารถบ่มให้สุกได้ และกระตุ้นการขยายของเซลล์ทางด้านข้าง เมื่อความเข้มข้นสูงระดับหนึ่ง

6. กรดแอบไซซิกควบคุมเมล็ดและตาให้เกิดการพักตัว กระตุ้นการปิดปากใบในภาวะที่พืชขาดน้ำ กระตุ้นการสังเคราะห์โปรตีนที่สะสมในเมล็ด ยับยั้งการทำงานของจิบเบอเรลลินในการสร้างเอนไซม์ให้ย่อยแป้งที่เก็บสะสมอยู่ในเมล็ดพืชใบเลี้ยงเดี่ยว

7. ปัจจัยที่มีผลต่อการงอกของเมล็ด เช่น น้ำหรือความชื้น แก๊สออกซิเจน อุณหภูมิ และแสง

8. สาเหตุของสภาพพักตัวของเมล็ด เช่น ส่วนห่อหุ้มเมล็ดมีความหนาหรือแข็ง เปลือกเมล็ดมีสารจำพวกไข คิวทิน ลิกนิน ซูเบอริน สะสมอยู่ที่ผนังเซลล์ของเปลือกเมล็ด เปลือกเมล็ดไม่ยอมให้แก๊สออกซิเจนแพร่ผ่าน เปลือกเมล็ดมีสารเคมีบางชนิดที่มีผลยับยั้งการงอกของเมล็ด เอ็มบริโอยังเจริญไม่เต็มที่

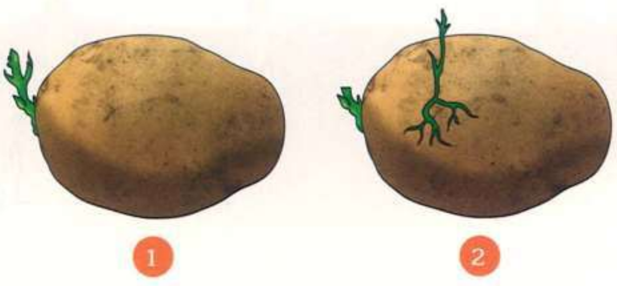
9. วิธีการทำลายสภาพพักตัวของเมล็ด เช่น การแช่เมล็ดในน้ำหรือสารละลายกรด การปาด การเฉือน การกระเทาะเปลือก การเผาหรือลนไฟ การล้างสารเคลือบเมล็ดออก

10. สิ่งเร้าภายนอกที่มีผลต่อการเจริญเติบโต และการตอบสนองของพืช เช่น แสง แรงโน้มถ่วงของโลก สารเคมี น้ำ และการสัมผัส ถ้าทิศทางการตอบสนองสัมพันธ์กับทิศทางของสิ่งเร้าภายนอกเรียกว่า การเบนหรือทรอพิซึม ถ้าทิศทางการตอบสนองไม่สัมพันธ์กับทิศทางของสิ่งเร้าภายนอก เรียกว่า แนสติกมูฟเมนต์

11. พืชมีกลไกตอบสนองต่อภาวะเครียดซึ่งอาจเป็นภาวะเครียดจากสิ่งเร้าทางกายภาพ เช่น เกิดจากน้ำ อุณหภูมิ ความเค็ม หรือภาวะเครียดจากสิ่งเร้าทางชีวภาพ เช่น เกิดจากการเข้าทำลายของสัตว์กินพืช จุลินทรีย์ก่อโรค

แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 12

1. ในการศึกษาการงอกของมันฝรั่ง พบว่าเมื่อสภาวะแวดล้อมเหมาะสมจะงอกต้นเล็ก ๆ จากหัวดังรูป 1 และถ้าตัดยอดต้นมันฝรั่งที่งอกออกมาพบว่าจะเกิดต้นเล็ก ๆ จากตาที่อยู่ถัดไปดังรูป 2 ถ้าตัดหัวมันฝรั่งออกเป็นส่วน ๆ ตามขวาง แต่ละส่วนมีตาติดอยู่ ผลการทดลองจะเป็นอย่างไร เพราะเหตุใด

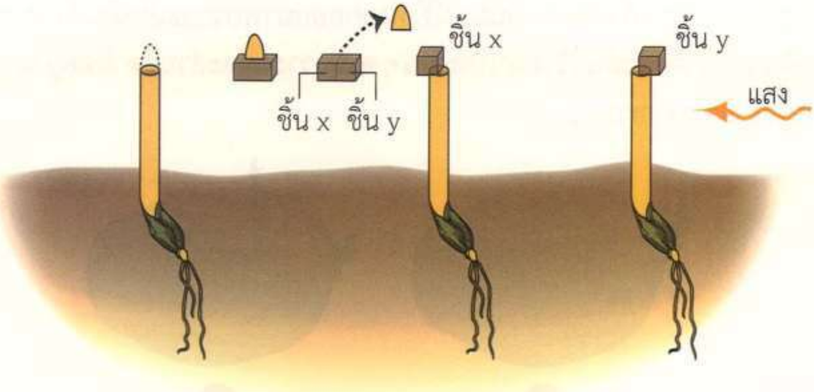


2. จงศึกษาการทดลองนี้แล้วตอบคำถาม
จากการทดลองเพาะต้นกล้าของถั่วพันธุ์เตี้ยกับถั่วพันธุ์สูง เมื่อตัดยอดออกแล้วนำแผ่นวุ้นไปวางดังการทดลองในรูป



เมื่อทดลองไป 2 สัปดาห์ พบว่าการทดลองที่ 1 และ 3 ต้นถั่วมีความสูงขึ้นใกล้เคียงกัน แต่การทดลองที่ 2 มีความสูงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น นักเรียนจะสรุปผลการทดลองนี้อย่างไร

3. ถ้าตัดปลายโคลีออพไทล์ของข้าวโพดไปวางบนแผ่นวุ้น นำวุ้นมาแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ทำการทดลองกับต้นกล้าข้าวโพด 2 ต้น ที่ตัดปลายโคลีออพไทล์ออก ดังรูป



3.1 ผลการทดลองจะเป็นอย่างไร เพราะเหตุใด
3.2 ถ้านำการทดลองไปไว้ในที่มืด ผลการทดลองจะเป็นอย่างไร เพราะเหตุใด

4. ในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช นักวิทยาศาสตร์ได้กล่าวถึงสัดส่วนของออกซินและไซโทไคนินต่อการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อของยาสูบไว้ ดังนี้
ถ้าสัดส่วนของออกซินต่อไซโทไคนิน
- สูงจะชักนำให้เกิดราก
- ต่ำจะชักนำให้เกิดยอด
- ปานกลางจะชักนำให้เกิดแคลลัส

ทั้งนี้ขึ้นกับชนิดของพืชและปริมาณฮอร์โมนพืชที่มีอยู่ภายในเนื้อเยื่อพืช เมื่อนำชิ้นส่วนของพืชชนิดหนึ่งมาเลี้ยงบนอาหารกึ่งแข็งที่เติมออกซินและไซโทไคนินความเข้มข้นต่าง ๆ กัน ผลที่ได้เป็นไปตามการทดลองของนักวิทยาศาสตร์ โดยสัดส่วนของออกซินต่อไซโทไคนินของเนื้อเยื่อพืชที่สามารถชักนำให้เกิดแคลลัสได้ คือ ออกซิน 1.00 mg/mL ไซโทไคนิน 1.00 mg/mL

จงพิจารณาลักษณะของชิ้นส่วนพืชที่คาดว่าจะได้หลังจากเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชชนิดนี้เป็นเวลา 3 เดือน โดยนำตัวอักษรหน้าข้อความแสดงลักษณะของชิ้นส่วนพืชเติมลงในตารางให้สัมพันธ์กับความเข้มข้นของออกซินและไซไทไคนิน

ลักษณะของชิ้นส่วนพืชที่คาดว่าจะได้

ก. ชิ้นส่วนพืชมีรากเกิดขึ้น ข. ชิ้นส่วนพืชมีแคลลัสเกิดขึ้น

ค. ชิ้นส่วนพืชมียอดเกิดขึ้น ง. ชิ้นส่วนพืชไม่มีการพัฒนา

ตารางแสดงความเข้มข้นของออกซินและไซโทไคนินที่ใช้ในอาหารกึ่งแข็ง

สารสังเคราะห์ที่มีสมบัติคล้ายฮอร์โมนพืช		ความเข้มข้นของออกซิน (mg/mL)	
		0.00	1.00
ความเข้มข้นของไซโทไคนิน (mg/mL)	0.00		
	1.00		

5. จงใส่เครื่องหมายถูก (√) หน้าข้อความที่ถูกต้อง ใส่เครื่องหมายผิด (×) หน้าข้อความที่ไม่ถูกต้อง และขีดเส้นใต้เฉพาะคำหรือส่วนของข้อความที่ไม่ถูกต้อง และแก้ไขโดยตัดออกหรือเติมคำหรือข้อความที่ถูกต้องลงในช่องว่าง

.......5.1 ออกซินมีประโยชน์ต่อการขยายพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศของพืชโดยจะกระตุ้นการสร้างรากพิเศษในกิ่งตอน

....

.......5.2 เกษตรกรใช้จิบเบอเรลลินช่วยให้ก้านของผลองุ่นยืดยาวและทำให้ผลองุ่นมีขนาดใหญ่ขึ้น

....

.......5.3 เอทิฟอนเป็นสารสังเคราะห์ที่มีสมบัติเหมือนกรดแอบไซซิก นำมาใช้เพื่อเพิ่มผลผลิตน้ำยางพารา

....

.......5.4 พืชตอบสนองต่อการขาดน้ำในดินโดยการสร้างเอทิลีน ทำให้ปากใบปิด

....

.......5.5 ออกซินและไซโทไคนินชักนำการเปลี่ยนแปลงของเนื้อเยื่อเป็นยอด ลำต้น และรากในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช

....

.......5.6 เอทิลีนเป็นฮอร์โมนพืชที่มีสถานะแก๊ส ช่วยเร่งการสุกของผลไม้โดยทำให้ผลไม้มีอัตราการหายใจเพิ่มขึ้น

....

.......5.7 การโค้งเข้าหาแสงของโคลีออพไทล์เกิดขึ้นเนื่องจากแสงกระตุ้นให้ปลายด้านโคลีออพไทล์ที่ได้รับแสงมากลำเลียงออกซินไปด้านที่ได้รับแสงน้อยแล้วกระตุ้นให้เซลล์ยืดตัวยาวมากกว่าด้านที่ได้รับแสงมาก โคลีออพไทล์จึงโค้งเข้าหาแสง

....

.......5.8 การกางแผ่นใบออกรับแสงในเวลากลางวันและการหุบใบในเวลากลางคืนและการบานของดอกไม้บางชนิดในเวลากลางวันและหุบในเวลากลางคืนเป็นการตอบสนองต่อสิ่งเร้าของพืชอย่างมีทิศทางสัมพันธ์กับทิศทางของสิ่งเร้าภายนอก

....

.......5.9 รากพืชเจริญเติบโตเข้าสู่บริเวณที่มีน้ำมาก ซึ่งอาจไม่เป็นทิศทางเดียวกับแรงโน้มถ่วงของโลกจัดเป็นการตอบสนองของพืชแบบทรอพิซึม

....

.......5.10 เมื่อเพาะเมล็ดข้าวโพดในที่มืด พบว่า รากข้าวโพดเจริญเติบโตลงสู่ด้านล่างจัดเป็นการเบนหนีแรงโน้มถ่วงของโลกและปลายยอดข้าวโพดเจริญเติบโตขึ้นสู่ด้านบนจัดเป็นการเบนเข้าหาแรงโน้มถ่วงของโลก

....

6. ในการทดลองให้สารที่มีสมบัติยับยั้งการสร้างเอทิลีนกับผลมะเขือเทศ 2 กลุ่ม ดังนี้
กลุ่มที่ 1 ให้สารชนิดนี้ 10 ppm
กลุ่มที่ 2 ไม่ให้สาร
ผลการทดลองมะเขือเทศทั้งสองกลุ่มจะมีความแตกต่างกันอย่างไร เพราะเหตุใด

ภาคผนวก

สวนพฤกษศาสตร์โรงเรียน

โครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริ
สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี
(โครงการอพ.สธ.)

โครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริ สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี ประกอบด้วย 8 กิจกรรมดังนี้

กิจกรรมที่ 1 กิจกรรมปกปักพันธุกรรมพืช
กิจกรรมที่ 2 กิจกรรมสำรวจเก็บรวบรวมพันธุกรรมพืช
กิจกรรมที่ 3 กิจกรรมปลูกรักษาพันธุกรรมพืช
กิจกรรมที่ 4 กิจกรรมอนุรักษ์และใช้ประโยชน์พันธุกรรมพืช
กิจกรรมที่ 5 กิจกรรมศูนย์ข้อมูลพันธุกรรมพืช
กิจกรรมที่ 6 กิจกรรมวางแผนพัฒนาพันธุ์พืช
กิจกรรมที่ 7 กิจกรรมสร้างจิตสำนึกในการอนุรักษ์พันธุกรรมพืช
กิจกรรมที่ 8 กิจกรรมพิเศษสนับสนุนการอนุรักษ์พันธุกรรมพืช

สวนพฤกษศาสตร์โรงเรียน อยู่ในกิจกรรมที่ 7 เพื่อเป็นสื่อในการสร้างจิตสำนึกด้านอนุรักษ์พันธุกรรมพืช โดยให้เยาวชนนั้นได้ใกล้ชิดกับพืชพรรณไม้ เห็นคุณค่า ประโยชน์ ความสวยงาม อันจะก่อให้เกิดความคิดที่จะอนุรักษ์พืชพรรณต่อไป

ดังที่สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี ทรงมีพระราชดำริบางประการเกี่ยวกับการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชว่า "การสอนและอบรมให้เด็กมีจิตสำนึกในการอนุรักษ์พืชพรรณนั้น ควรใช้วิธีการปลูกฝังให้เด็กเห็นความงดงาม ความน่าสนใจ และเกิดความปิติที่จะทำการศึกษาและอนุรักษ์พืชพรรณต่อไป การใช้วิธีการสอนการอบรมที่ให้เกิดความรู้สึกกลัวว่า หากไม่อนุรักษ์แล้วจะเกิดผลเสีย เกิดอันตรายแก่ตนเอง จะทำให้เด็กเกิดความเครียดซึ่งจะเป็นผลเสียแก่ประเทศในระยะยาว"

การที่นักเรียนจะเกิดจิตสำนึกดังกล่าวได้นั้น นักเรียนต้องเรียนรู้จากของจริง มีการสำรวจและศึกษาพรรณไม้อย่างใกล้ชิด เห็นความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับพืชและสิ่งมีชีวิตที่เกี่ยวข้องกับพืชตลอดจนปัจจัยทางกายภาพตามธรรมชาติในหัวข้อที่กำหนด ได้แก่ พืชศึกษา ธรรมชาติแห่งชีวิต สรรพสิ่งล้วนพันเกี่ยวและประโยชน์แท้แก่มหาชน

สวนพฤกษศาสตร์โรงเรียน หมายถึง ทุกสิ่งทุกอย่างที่มีอยู่ในโรงเรียนที่ใช้เพื่อการเรียนรู้โดยมีพืชเป็นปัจจัยหลัก ชีวภาพอื่นเป็นปัจจัยรอง กายภาพเป็นปัจจัยเสริม และวัสดุอุปกรณ์เป็นปัจจัยประกอบ

งานสวนพฤกษศาสตร์โรงเรียน คือ งานสร้างจิตสำนึกในการอนุรักษ์พันธุกรรมพืช ทรัพยากรชีวภาพและกายภาพ โดยมีการสัมผัส การเรียนรู้ การสร้างและปลูกฝังคุณธรรม การเสริมสร้างปัญญาและภูมิปัญญา

ผลของการดำเนินงานสวนพฤกษศาสตร์โรงเรียน

- เกิดจิตสำนึกในการอนุรักษ์พันธุกรรมพืช และทรัพยากร
- มีข้อมูลการเรียนรู้ทรัพยากรที่สามารถสื่อกันได้ทั่วประเทศ
- มีคุณธรรมจริยธรรมเป็นฐานของวิทยาการและปัญญา
- เกิดนักอนุรักษ์ พัฒนาบนฐานคุณธรรม
- เสริมสร้างการเรียนรู้บนฐานปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียง

ธรรมชาติของสวนพฤกษศาสตร์โรงเรียน ดำเนินการโดยผู้ไม่เชี่ยวชาญคือนักเรียน บทบาทสำคัญคือเมื่อมีแล้ว ใช้พื้นที่นั้นเรียนรู้เป็นสถานอบรมสั่งสอนเบ็ดเสร็จ เกิดทั้งวิทยาการและปัญญา กำหนดแนวทางในการใช้ธรรมชาติเป็นปัจจัยให้เรารู้สิ่งรอบตน โดยการสัมผัสด้วยตา หู จมูก และจิตที่แน่วจรดจ่อ อ่อนโยน ให้อารมณ์ในการสัมผัส เรียนรู้ขณะที่สัมผัส แล้วกลับมาพิจารณาตน ชีวิต กาย จิตใจ การดำเนินศึกษาเรียนรู้จากสวนพฤกษศาสตร์โรงเรียน ข้อมูลที่ได้รับจะเป็นฐานด้านทรัพยากรกายภาพและชีวภาพ เกิดเป็นตำราในแต่ละเรื่อง เป็นฐานความรู้ เกิดความมั่นคงทางวิทยาการของประเทศไทย เกิดเป็นผลทางเศรษฐกิจ เป็นฐานของเศรษฐกิจพอเพียง

"**สวนพฤกษศาสตร์โรงเรียน**" จึงเป็นสื่อในการที่จะให้นักเรียน เยาวชน และประชาชนทั่วไปได้มีความเข้าใจ เห็นความสำคัญของพืชพรรณ เกิดความรัก หวงแหน และรู้จักการนำไปใช้ประโยชน์อย่างยั่งยืน

โรงเรียนต่าง ๆ สามารถสมัครเป็นสมาชิกสวนพฤกษศาสตร์โรงเรียนในโครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริ สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี เรียนรู้และทำกิจกรรมตามแนวทางสวนพฤกษศาสตร์โรงเรียน สนองพระราชดำริ และสร้างจิตสำนึกให้กับเยาวชนในการร่วมกันอนุรักษ์พันธุกรรมพืชสืบไปอย่างยั่งยืน

สามารถดูรายละเอียดได้ที่ www.rspg.or.th

รายละเอียดกิจกรรมเสนอแนะ หัวข้อ การเรียนรู้สรรพสิ่งล้วนพันเกี่ยว

จุดประสงค์

1. สำรวจ ศึกษา รูปลักษณ์และคุณสมบัติของพรรณไม้ในท้องถิ่นตามหลักวิชาการด้านพฤกษศาสตร์
2. วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาพรรณไม้เพื่อใช้ประโยชน์ในการศึกษาด้านอื่นต่อไป
3. ใช้วิธีการทางวิทยาศาสตร์ในการศึกษาปัจจัยภายนอก (ปัจจัยกายภาพ) ที่เกี่ยวข้องกับพืชได้
4. รวบรวมข้อมูลและจัดทำเป็นรายงานผลการเรียนรู้ประกอบการอภิปรายเพื่อกำหนดปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชในการทำกิจกรรมในหนังสือเรียนที่เกี่ยวข้องได้

คำที่ควรทราบจากงานสวนพฤกษศาสตร์โรงเรียน โครงการอพ.สธ.

ปัจจัยหลัก คือ พืช

ปัจจัยภายนอกที่เข้ามาพันเกี่ยว คือ

- ปัจจัยทางชีวภาพ (ปัจจัยรอง) ได้แก่ สิ่งมีชีวิตต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยหลัก เช่น ศัตรูพืช
- ปัจจัยทางกายภาพ (ปัจจัยเสริม) เช่น ดิน น้ำ อากาศ แสง
- ปัจจัยอื่น ๆ นอกเหนือจากชีวภาพและกายภาพ เช่น วัสดุอุปกรณ์ อาคารสถานที่

วิธีการทำกิจกรรม (ดัดแปลงจากงานสวนพฤกษศาสตร์โรงเรียน)

ตอนที่ 1 การเรียนรู้รูปลักษณ์และคุณสมบัติของพืช (ปัจจัยหลัก)

สำรวจความหลากหลายของพืชในพื้นที่ศึกษาและเลือกชนิดของพืชในโรงเรียน รอบบริเวณโรงเรียน หรือในท้องถิ่นที่อาศัยอยู่ ศึกษาพืชชนิดนั้นตามหลักวิชาการด้านพฤกษศาสตร์และเครื่องมือวิจัยจากธรรมชาติแห่งชีวิต ในงานสวนพฤกษศาสตร์โรงเรียน โครงการอพ.สธ. โดยสามารถศึกษารายละเอียดและดาวน์โหลดเอกสารได้จาก http://ipst.me/7620

หมายเหตุ โรงเรียนที่เป็นสมาชิกสวนพฤกษศาสตร์โรงเรียนในโครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริ จะมีฐานข้อมูลทะเบียนพรรณไม้ซึ่งอาจใช้ข้อมูลดังกล่าวเป็นฐานในการคัดเลือกชนิดพืชที่จะศึกษาต่อไปได้

ตอนที่ 2 การเรียนรู้สรรพสิ่งล้วนพันเกี่ยว (ปัจจัยภายนอก-ปัจจัยกายภาพ)

1. แบ่งกลุ่มเพื่อศึกษากายภาพที่เกี่ยวข้องกับพืชที่ต้องการศึกษา โดยใช้การสืบค้นข้อมูลด้วยวิธีต่าง ๆ เช่น สังเกตและเก็บข้อมูลของพืชในพื้นที่จริง หรือสอบถามข้อมูลจากปราชญ์ชาวบ้านในท้องถิ่นเกี่ยวกับการขยายพันธุ์และการนำพืชไปใช้ประโยชน์ โดยสามารถศึกษารายละเอียดตัวอย่างการเรียนรู้ธรรมชาติของปัจจัยชีวภาพและกายภาพได้จากเอกสารของงานสวนพฤกษศาสตร์โรงเรียน โครงการ อพ.สธ. สามารถดาวน์โหลดเอกสารได้จาก http://ipst.me/7620

หมายเหตุ เอกสารของโครงการจะเป็นตัวอย่างการศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวพันกับการเจริญเติบโตของข้าว

2. แต่ละกลุ่มเลือกศึกษาปัจจัยกายภาพที่มีผลต่อพืชที่เลือกศึกษาในด้านต่าง ๆ รวบรวมข้อมูลจัดทำเป็นรายงานผลการเรียนรู้ ซึ่งสามารถศึกษาแนวทางการจัดทำรายงานผลการเรียนรู้ได้จากองค์ประกอบที่ 4 (การรายงานผลการเรียนรู้) ของงานสวนพฤกษศาสตร์โรงเรียน โครงการ อพ.สธ. โดยสามารถดาวน์โหลดเอกสารได้จาก http://ipst.me/7620
3. นำเสนอข้อมูลที่ได้มาและร่วมกันสรุปปัจจัยทางกายภาพที่เกี่ยวข้องกับพืชที่ศึกษา

คำศัพท์

บทที่ 8		
ก	กลีบดอก	petal
	กลีบเลี้ยง	sepal
	ก้านเกสรเพศเมีย	style
	ก้านชูอับเรณู	filament
	ก้านเมล็ด	funiculus
	การถ่ายเรณู	pollination
	การปฏิสนธิคู่	double fertilization
	เกสรเพศผู้	stamen
	เกสรเพศเมีย	pistil
	แกมีโทไฟต์	gametophyte
ค	คารังเคิล	caruncle
	โคลีออพไทล์	coleoptile
	โคลีโอไรซา	coleorhiza
ซ	ซินเนอร์จิด	synergid
	เซนทรัลเซลล์	central cell
ฐ	ฐานดอกร่วม	common receptacle
ด	ดอกช่อ	inflorescences
	ดอกเดี่ยว	solitary flower
	ดอกไม่สมบูรณ์	incomplete flower
	ดอกไม่สมบูรณ์เพศ	imperfect flower
	ดอกสมบูรณ์	complete flower

ด	ดอกสมบูรณ์เพศ	perfect flower
ถ	ถุงเอ็มบริโอ	embryo sac
น	นิวเซลลัส	nucellus
บ	ใบประดับ	bract
	ใบเลี้ยง	cotyledon
ป	เปลือกเมล็ด	seed coat
ผ	ผนังผล	pericarp
	ผนังผลชั้นกลาง	mesocarp
	ผนังผลชั้นนอก	exocarp
	ผนังผลชั้นใน	endocarp
	ผนังออวุล	integument
	ผลกลุ่ม	aggregate fruit
	ผลเดี่ยว	simple fruit
	ผลรวม	multiple fruit
พ	พาหะถ่ายเรณู	pollinator
	โพลาร์นิวคลีไอ	polar nuclei
ม	เมกะสปอร์มาเทอร์เซลล์	megaspore mother cell
	ไมโครสปอร์มาเทอร์เซลล์	microspore mother cell
	ไมโครไพล์	micropyle
ย	ยอดเกสรเพศเมีย	stigma
	ยอดแรกเกิด	plumule
ร	รังไข่	ovary
	รังไข่ใต้วงกลีบ	inferior ovary
	รังไข่เหนือวงกลีบ	superior ovary

ร	รากแรกเกิด	radicle
	เรณู	pollen
ล	ลำต้นแรกเกิด	caulicle
ว	วงกลีบดอก	corolla
	วงกลีบเลี้ยง	calyx
	วงเกสรเพศผู้	androecium
	วงเกสรเพศเมีย	gynoecium
	วัฏจักรชีวิตแบบสลับ	alternation of generation
ส	สปอร์มาเทอร์เซลล์	spore mother cell
	สปอโรไฟต์	sporophyte
อ	ออวุล	ovule
	อับเรณู	anther
	เอนโดสเปิร์ม	endosperm
	เอพิคอทิล	epicotyl
	แอนติโพแดล	antipodal
ฮ	ไฮโพคอทิล	hypocotyl
	ไฮลัม	hilum
	บทที่ 9	
ก	กระพี้ไม้	sapwood
	ก้านใบ	petiole
	กาบใบ	leaf sheath
	การเติบโตทุติยภูมิ	secondary growth
	การเติบโตปฐมภูมิ	primary growth
	แก่นไม้	heartwood

ค	คอร์ก	cork
	คอร์กแคมเบียม	cork cambium
	คอร์เทกซ์	cortex
	คอลเลงคิมา	collenchyma
	คิวทิเคิล	cuticle
	คิวทิน	cutin
	แคมเบียม	cambium
ช	ช่องพิธ	pith cavity
	ช่องอากาศ	air space
ซ	ซีฟทิวบ์เมมเบอร์	sieve tube member
	ซีฟทิวบ์หรือท่อลำเลียงอาหาร	sieve tube
	ซีฟเพลต	sieve plate
	เซลล์ขนราก	root hair cell
	เซลล์ข้างเคียงเซลล์คุม	subsidiary cell
	เซลล์คอมพาเนียน	companion cell
	เซลล์คอลเลงคิมา	collenchyma cell
	เซลล์คุม	guard cell
	เซลล์เจริญ	meristematic cell
	เซลล์บันเดิลชีท	bundle sheath cell
	เซลล์ผิว	epidermal cell
	เซลล์พาเรงคิมา	parenchyma cell
	เซลล์สเกลอเรงคิมา	sclerenchyma cell
	ไซเล็ม	xylem
	ไซเล็มทุติยภูมิ	secondary xylem

ซ	ไซเล็มปฐมภูมิ	primary xylem
ต	ตาตามซอก	axillary bud
	ตาตามซอกเริ่มเกิด	axillary bud primordium
ถ	แถบแคสพาเรียน	Casparian strip
ท	เทรคีด	tracheid
น	เนื้อไม้	wood
	เนื้อเยื่อเจริญ	meristematic tissue หรือ meristem
	เนื้อเยื่อเจริญด้านข้าง	lateral meristem
	เนื้อเยื่อเจริญปลายยอด	apical shoot meristem
	เนื้อเยื่อเจริญปลายราก	apical root meristem
	เนื้อเยื่อเจริญส่วนปลาย	apical meristem
	เนื้อเยื่อเจริญเหนือข้อ	intercalary meristem
	เนื้อเยื่อถาวร	permanent tissue
	เนื้อเยื่อท่อลำเลียง	vascular tissue
	เนื้อเยื่อพืช	plant tissue
บ	บริเวณการแบ่งเซลล์	region of cell division
	บริเวณการเปลี่ยนสภาพและการเจริญเต็มที่ของเซลล์	region of cell differentiation and maturation
	บริเวณการยืดตามยาวของเซลล์	region of cell elongation
	ใบเริ่มเกิดหรือเนื้อเยื่อกำเนิดใบ	leaf primordium
	ใบอ่อน	young leaf
ป	ปากใบ	stoma
	เปลือกไม้	bark
ผ	ผนังเซลล์ทุติยภูมิ	secondary cell wall หรือ secondary wall

ผ	ผนังเซลล์ปฐมภูมิ	primary cell wall หรือ primary wall
	แผ่นกั้นเซลล์	cell plate
	แผ่นใบ	blade
พ	พาเรงคิมา	parenchyma
	พิธ	pith
	เพริไซเคิล	pericycle
	เพอร์ฟอเรชันเพลตหรือแผ่นมีรู	perforation plate
	แพลิเซดมีโซฟิลล์	palisade mesophyll
ฟ	โฟลเอ็ม	phloem
	โฟลเอ็มทุติยภูมิ	secondary phloem
	โฟลเอ็มปฐมภูมิ	primary phloem
	ไฟเบอร์หรือเซลล์เส้นใย	fiber
ม	มิดเดิลลาเมลลา	middle lamella
	มีโซฟิลล์	mesophyll
ร	ระบบเนื้อเยื่อท่อลำเลียง	vascular tissue system
	ระบบเนื้อเยื่อผิว	dermal tissue system
	ระบบเนื้อเยื่อพื้น	ground tissue system หรือ fundamental tissue system
	รากแก้ว	tap root
	รากแขนง	lateral root
	รากทุติยภูมิ	secondary root
	รากปฐมภูมิ	primary root
	รากพิเศษ	adventitious root
	รูปากใบ	stomatal pore

ล	ลำต้นอ่อน	young stem
ว	วงปี	annual ring
	วาสคิวลาร์แคมเบียม	vascular cambium
	วาสคิวลาร์บันเดิลหรือมัดท่อลำเลียง	vascular bundle
	เวสเซล	vessel
	เวสเซลเมมเบอร์	vessel member
ส	สเกลอรีด	sclereid
	สเกลอเรงคิมา	sclerenchyma
	สตีล	stele
	สปองจีมีโซฟิลล์	spongy mesophyll
	เส้นกลางใบ	midrib
	เส้นใบ	vein
	เส้นใบย่อย	veinlet
ห	หมวกราก	root cap
	หูใบ	stipule
อ	เอนโดเดอร์มิส	endodermis
	เอพิเดอร์มิส	epidermis
	เอพิเดอร์มิสด้านบน	upper epidermis
	เอพิเดอร์มิสด้านล่าง	lower epidermis
	บทที่ 10	
ก	กัตเตชัน	guttation
	การคายน้ำ	transpiration
	การซึมตามรูเล็ก	capillary action
ค	ความดันราก	root pressure

ช	ชลศักย์	water potential
ธ	ธาตุอาหารรอง	micronutrient
	ธาตุอาหารหลัก	macronutrient
บ	แบบซิมพลาสต์	symplast pathway
	แบบทรานส์เมมเบรน	transmembrane pathway
	แบบอโพพลาสต์	apoplast pathway
ป	โปรตีนลำเลียง	transport protein
พ	พลาสโมเดสมาตา	plasmodesmata
ร	รูหยาดน้ำ	hydathode
	แรงดึงจากการคายน้ำ	transpiration pull
ล	เลนทิเซล	lenticel
ฮ	ไฮโดรพอนิกส์	hydroponics
บทที่ 11		
ก	การตรึงคาร์บอน	carbon fixation
	การถ่ายทอดอิเล็กตรอนแบบเป็นวัฏจักร	cyclic electron transfer
	การถ่ายทอดอิเล็กตรอนแบบไม่เป็นวัฏจักร	non-cyclic electron transfer
ค	คลอโรฟิลล์	chlorophyll
	คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	electromagnetic wave
	คาร์บอกซิเลชัน	carboxylation
	คาร์บอนไดออกไซด์คอมเพนเซชันพอยต์หรือค่าชดเชยของคาร์บอนไดออกไซด์	carbon dioxide compensation point
	แคโรทีน	carotene
	แคโรทีนอยด์	carotenoid

จ	จุดอิ่มตัวของคาร์บอนไดออกไซด์	carbon dioxide saturation point
	จุดอิ่มตัวของแสง	light saturation point
ซ	แซนโทฟิลล์	xanthophyll
ป	ปฏิกิริยาแสง	light reaction
	ปัจจัยจำกัด	limiting factor
ฟ	โฟตอน	photon
	โฟโตเรสไพเรชัน หรือการหายใจเชิงแสง	photorespiration
ร	ระบบแสง	photosystem; PS
	ระบบแสง I	photosystem I; PSI
	ระบบแสง II	photosystem II; PSII
	รีเจเนอเรชัน	regeneration
	รีดักชัน	reduction
ล	ไลต์คอมเพนเซชันพอยต์ หรือค่าชดเชยแสง	light compensation point
ว	วัฏจักรคัลวิน	Calvin cycle
ศ	ศูนย์กลางปฏิกิริยา	reaction center
ส	สถานะกระตุ้น	excited state
	สถานะพื้น	ground state
	สารสี	pigment
	แสงที่ตามนุษย์มองเห็นได้	visible light
อ	อนุภาค	particle
	แอนเทนนา	antenna

บทที่ 12		
ก	กรดแอบไซซิก	abscisic acid
	การตอบสนองต่อการสัมผัส	thigmotropism
	การตอบสนองต่อน้ำ	hydrotropism
	การตอบสนองต่อสารเคมี	chemotropism
	การเบนเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก	gravitropism
	การเบนเนื่องจากแสง	phototropism
จ	จิบเบอเรลลิน	gibberellin
ซ	ไซโทไคนิน	cytokinin
ท	ทรอพิซึม	tropism
น	นูเทชัน	nutation
	แนสติกมูฟเมนต์	nastic movement
บ	บราสซิโนสเตอรอยด์	brassinosteroid
พ	พัลไวนัส	pulvinus
	พืชดินเค็ม	halophyte
ภ	ภาวะเครียด	stress
ร	แรงดันเต่ง	turgor pressure
ส	สตริโกแลกโทน	strigolactone
	สภาพพักตัวของเมล็ด	seed dormancy
	สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช	plant growth regulator
อ	ออกซิน	auxin
	เอทิลีน	ethylene
	แอนทิฟรีซโปรตีน	antifreeze protein

ฮ	ฮอร์โมนพืช	plant hormone
	ฮีทช็อคโปรตีน	heat-shock protein

บรรณานุกรม

กองปฐพีวิทยา กรมวิชาการเกษตร. (2543). **ลักษณะอาการขาดธาตุอาหารของพืช** (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย.

ชุมพล คุณวาสี. (2551). **สัณฐานวิทยาเบื้องต้นในการระบุชื่อวงศ์พืชดอกสามัญ**. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เทียมใจ คมกฤส. (2546). **กายวิภาคของพฤกษ์** (พิมพ์ครั้งที่ 5). กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2558). **หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมชีววิทยา เล่ม 3 ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4-6 กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551** (พิมพ์ครั้งที่ 9). กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์ สกสค. ลาดพร้าว.

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโลยี. (2561). **หนังสือเรียนรายวิชาพื้นฐานวิทยาศาสตร์ วิทยาศาสตร์ชีวภาพ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4-6 กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551** (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์ สกสค. ลาดพร้าว.

สำนักงานราชบัณฑิตยสภา. (2560). **พจนานุกรมศัพท์พฤกษศาสตร์ ฉบับราชบัณฑิตยสภา** (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์คณะรัฐมนตรีและราชกิจจานุเบกษา.

Belmonte, M. F., Kirkbride, R. C., Stone, S. L., Pelletier, J. M., Bui, A. Q., Yeung, E. C., ... & Le, B. H. (2013). Comprehensive developmental profiles of gene activity in regions and subregions of the Arabidopsis seed. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, 110(5), 435-444.

Calvin, M. (1964). The path of carbon in photosynthesis. **Nobel Lectures chemistry 1942-1962**, Amsterdan: Elsevier Publishing Compay.

Campbell, N. A., Urry, L. A., Cain, M. L., Wasserman, S. A., Minorsky, P. V., & Reece, J. B. (2018). **Biology: A Global Approach** (11th ed). New York: Pearson Education Limited.

Davies, P. J. (2010). **Plant Hormones Biosynthesis, Signal Transduction, Action** (3rd ed). New York: Springer Science+Business Media B.V.

Evert, R. F. (2006). **Esau's Plant anatomy: meristems, cells, and tissues of the plant body: their structure, function, and development** (3rd ed). New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.

Evert, R. F. & Eichhorn, S. E. (2013). **Raven Biology of Plants** (8th ed). New York: W. H. Freeman and Company Publishers.

Macmillan learning. (2018). **Double fertilization.** Retrieved April 1, 2018, from http://www.macmillanhighered.com/BrainHoney/Resource/6716/digital_first_content/trunk/test/hillis2e/asset/img_ch27/c27_fig04.html

Pfennig, N. (1987). van Niel Remembered. **ASM News**, 53, 75-77.

Stanier, R. Y., Doudoroff, M., Kunisawa, R., & Contopoulou, R. (1959). The role of organic substrates in bacterial photosynthesis. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, 45(8), 1246-1260.

Taiz, L., Zeiger E., Moller, I. M., Murphy, A. (2015). **Plant Physiology and Development** (6th ed). Massachusetts: Sinauer Associates Inc.e

Trebst, A. V., Tsujimoto, H. Y., Arnon, D. I. (1958). Separation of light and dark phases in the photosynthesis of isolated chloroplasts. **Nature**, 182(4632), 351-355.

Whatley, F. R., Allen, M. B., Trebst, A. V., & Arnon, D. I. (1960). Photosynthesis by isolated chloroplasts IX. Photosynthetic phosphorylation and CO_2 assimilation in different species. **Plant physiology**, 35(2), 188.

ที่มาของข้อมูลวิจัย

ที่มา	ข้อมูลวิจัย (หน้า)
เอื้อเฟื้อโดย ดร.มีชัย เชี่ยงหลิว หน่วยปฏิบัติการค้นหาและใช้ประโยชน์ยีนข้าว ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (สวทช.)	- ข้าวทนน้ำท่วมฉับพลัน (216)
เอื้อเฟื้อโดย ศาสตราจารย์ ดร.สนั่น จอกลอย ภาควิชาพืชศาสตร์และทรัพยากรการเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น	- ถั่วลิสงทนแล้ง (217)
เอื้อเฟื้อโดย ดร.ดวงใจ สุริยาอรุณโรจน์ ศูนย์วิจัยข้าวนครราชสีมา	- ข้าวทนดินเค็ม (218)

ที่มาของรูป

ที่มา	รูป (หน้า)
เอื้อเฟื้อโดย ผศ.เรณู ถาวโรฤทธิ์ นักวิชาการอิสระ	- 9.2 ก. และ ข. (41) - 9.6 ก. และ ค. (45) - 9.9 ข. และ ค. (47) - 9.10 ก. และ ข. (49) - 9.14 ข. และ ง. (61) - 9.18 ก. และ ข. (69)

ที่มา	รูป (หน้า)
เอื้อเฟื้อโดย รศ.ดร.มานิต คิดอยู่ ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	- เนื้อเยื่อลำต้นไผ่ตัดตามขวาง (37) - 9.3 ก. และ ข. (42) - 9.4 ข. และ ค. (43) - 9.6 ข. และ ง. (45) - 9.7 ก. (46) - 9.8 ก. และ ข. (47) - 9.9 ง. (47) - 9.11 (50) - 9.14 ก. และ ค. (61) - 9.15 ก. และ ข. (61) - 9.17 ก. และ ข. (63) - 9.20 (71) - 9.21 (72) - 9.23 ลำต้นโมกตัดตามขวาง และรูปขยาย (74) - 9.24 ข. (75) - 9.26 (83) - รูปประกอบโจทย์ ข้อ 7 (92)
เอื้อเฟื้อโดย นายนเรตร์ กันทะวงค์ อุทยานแห่งชาติตากสินมหาราช	- ต้นกระบากใหญ่ (95)
เอื้อเฟื้อโดย ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	- 10.12 (118) - 11.29 (172)
เอื้อเฟื้อโดย น.ส. เกศศิรินทร์ แสงมณี	- ปมรากถั่ว (116)
เอื้อเฟื้อโดย นาย อรรถพล รุกขพันธ์ นักวิชาการเกษตร ศูนย์วิจัยพืชสวนศรีสะเกษ	- 12.8 (194)
เอื้อเฟื้อโดย ดร.มีชัย เซี่ยงหลิว หน่วยปฏิบัติการค้นหาและใช้ประโยชน์ยีนข้าว ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (สวทช.)	- ข้าวทนน้ำท่วมฉับพลัน (216)

ที่มา	รูป (หน้า)
เอื้อเฟื้อโดย ศาสตราจารย์ ดร.สนั่น จอกลอย ภาควิชาพืชศาสตร์และทรัพยากรการเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น	- ถั่วลิสงทนแล้ง (217)
เอื้อเฟื้อโดย ดร.ดวงใจ สุริยาอรุณโรจน์ ศูนย์วิจัยข้าวนครราชสีมา	- ข้าวทนดินเค็ม (218)

คณะกรรมการจัดทำหนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ ชีววิทยา เล่ม 3 ตามผลการเรียนรู้ กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551

คณะที่ปรึกษา

1. ศ.ดร.ชูกิจ ลิมปิจำนงค์	ผู้อำนวยการ สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
2. ดร.วนิดา ธนประโยชน์ศักดิ์	ผู้ช่วยผู้อำนวยการ สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

คณะผู้จัดทำหนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ ชีววิทยา ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เล่ม 3

1. รศ.ดร.ธีรพงษ์ บัวบูชา	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
2. ศ.ดร.ไพศาล สิทธิกรกุล	ผู้เชี่ยวชาญพิเศษ สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
3. นายธีรพัฒน์ เวชชประสิทธิ์	ผู้อำนวยการสาขาวิทยาศาสตร์มัธยมศึกษาตอนปลาย สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
4. รศ.ดร.วีระวรรณ สิทธิกรกุล	ผู้เชี่ยวชาญ สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
5. นางเพ็ชรรัตน์ ศรีวิลัย	ผู้เชี่ยวชาญ สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
6. ผศ.ดร.พัชนี สิงห์อาษา	ผู้ชำนาญ สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
7. นายณรงค์ พ่วงศรี	ผู้ชำนาญ สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
8. ดร.อรสา ชูสกุล	ผู้ชำนาญสาขาวิทยาศาสตร์มัธยมศึกษาตอนปลาย สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

9. ดร.สุนัดดา โยมญาติ	ผู้ชำนาญสาขาวิทยาศาสตร์มัธยมศึกษาตอนปลาย สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
10. ดร.ขวัญชนก ศรัทธาสุข	นักวิชาการสาขาวิทยาศาสตร์มัธยมศึกษาตอนปลาย สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
11. ดร.ภัณฑิลา อุดร	นักวิชาการสาขาวิทยาศาสตร์มัธยมศึกษาตอนปลาย สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
12. นางสาวปุณยาพร บริเวธานันท์	นักวิชาการสาขาวิทยาศาสตร์มัธยมศึกษาตอนปลาย สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

คณะผู้ร่วมพิจารณาหนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ ชีววิทยา
ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เล่ม 3

1. รศ.ดร.มานิต คิดอยู่	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
2. รศ.ดร.ศุภจิตรา ชัชวาลย์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
3. ผศ.เรณู ถาวโรฤทธิ์	นักวิชาการอิสระ
4. นายเจษฎา นาจันทอง	โรงเรียนท่าคันโทวิทยาคม จ.กาฬสินธุ์
5. นายชัยยศ นุ่มกลิ่น	โรงเรียนศรีบุณยานนท์ จ.นนทบุรี
6. นางสาวณัฎยา สุริยนต์	โรงเรียนสามัคคีวิทยาคม จ.เชียงราย
7. นายณัฐพงศ์ มนต์อ่อน	โรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี) กรุงเทพมหานคร
8. นางสาวธนพร สินธุมงคลชัย	โรงเรียนโยธินบูรณะ กรุงเทพมหานคร
9. นางสาวนายิกา สันทารุนัย	โรงเรียนเบญจมราชูทิศ จังหวัดจันทบุรี จ.จันทบุรี
10. นายพิรุณ ไพสนิท	โรงเรียนสุรวิทยาคาร จ.สุรินทร์
11. นางวรรณวิภา เบญจเลิศยานนท์	โรงเรียนเฉลิมพระเกียรติสมเด็จพระศรีนครินทร์ ภูเก็ต จ.ภูเก็ต
12. นางสาววันวิสา เห็นประจักษ์	โรงเรียนอ่างศิลาพิทยาคม จ.ชลบุรี
13. นายวีระเดช คำถาวร	โรงเรียนหอวัง กรุงเทพมหานคร
14. นายศิวเชษฐ ชัยโรจน์	โรงเรียนมัธยมวัดหนองจอก กรุงเทพมหานคร
15. นายสุรเดช เอ่งฉ้วน	โรงเรียนอ่าวลึกประชาสรรค์ จ.กระบี่
16. นายสุรเดช ศรีทา	โรงเรียนสาธิตแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร

17. นายสุริยา บัวหอม	โรงเรียนประจันตราษฎร์บำรุง จ.ปราจีนบุรี
18. นางสาวอรชพร ณ เชียงใหม่	โรงเรียนสันกำแพง จ.เชียงใหม่
19. นางสาวอังคนางค์ เชื้อเจ็ดตน	โรงเรียนสามัคคีวิทยาคม จ.เชียงราย
20. นางอารี อนันต์ศรี	โรงเรียนกาญจนาภิเษกวิทยาลัย สุราษฎร์ธานี จ.สุราษฎร์ธานี
21. นางสาววิลาส รัตนานุกูล	นักวิชาการอาวุโสสาขาวิทยาศาสตร์มัธยมศึกษาตอนปลาย สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
22. ดร.ปารวีร์ เล็กประเสริฐ	นักวิชาการอาวุโสสาขาวิทยาศาสตร์มัธยมศึกษาตอนปลาย สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
23. ดร.นันทยา อัครอารีย์	นักวิชาการสาขาวิทยาศาสตร์มัธยมศึกษาตอนปลาย สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
24. นางสาวปาณิก เวียงชัย	นักวิชาการสาขาวิทยาศาสตร์มัธยมศึกษาตอนปลาย สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

คณะบรรณาธิการ

1. รศ.ดร.ธีรพงษ์ บัวบูชา	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
2. รศ.ดร.มานิต คิดอยู่	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
3. รศ.ดร.ศุภจิตรา ชัชวาลย์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
4. ศ.ดร.ไพศาล สิทธิกรกุล	ผู้เชี่ยวชาญพิเศษ สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
5. ดร.วนิดา ธนประโยชน์ศักดิ์	ผู้ช่วยผู้อำนวยการ สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
6. นายธีรพัฒน์ เวชชประสิทธิ์	ผู้อำนวยการสาขาวิทยาศาสตร์มัธยมศึกษาตอนปลาย สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

คำอธิบายรายวิชาเพิ่มเติม

ชีววิทยา เล่ม ๓ **กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ.๒๕๖๐)**
ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๕ **เวลา ๖๐ ชั่วโมง จำนวน ๑.๕ หน่วยกิต**

ศึกษาเกี่ยวกับวัฏจักรชีวิตแบบสลับของพืชดอก กระบวนการสร้างเซลล์สืบพันธุ์เพศผู้เพศเมียและการปฏิสนธิของพืชดอก การเกิดและโครงสร้างของเมล็ดและผล ศึกษาชนิดและลักษณะของเนื้อเยื่อพืช โครงสร้างภายในของราก ลำต้น และใบของพืช ศึกษาการแลกเปลี่ยนแก๊สและการคายน้ำของพืช กลไกการลำเลียงน้ำ ธาตุอาหาร และอาหารในพืช ศึกษาการทดลองของนักวิทยาศาสตร์ในอดีตเกี่ยวกับกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช C_3 การตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ในพืช C_3 พืช C_4 และพืช CAM ปัจจัยที่มีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช รวมทั้งศึกษาสภาพพักตัวของเมล็ดและปัจจัยที่มีผลต่อการงอกของเมล็ด สิ่งเร้าภายในและภายนอกที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช และการนำไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตร โดยใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ การสืบเสาะหาความรู้ การสืบค้นข้อมูล การสังเกต วิเคราะห์ เปรียบเทียบ อธิบาย อภิปราย และสรุป เพื่อให้เกิดความรู้ ความเข้าใจ มีความสามารถในการตัดสินใจ มีทักษะปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ รวมทั้งทักษะการเรียนรู้ในศตวรรษที่ ๒๑ ในด้านการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ ด้านการคิดและการแก้ปัญหา ด้านการสื่อสาร สามารถสื่อสารสิ่งที่เรียนรู้และนำความรู้ไปใช้ในชีวิตของตนเอง มีจิตวิทยาศาสตร์ จริยธรรม คุณธรรม และค่านิยมที่เหมาะสม

ผลการเรียนรู้

๑. อธิบายวัฏจักรชีวิตแบบสลับของพืชดอก
๒. อธิบายและเปรียบเทียบกระบวนการสร้างเซลล์สืบพันธุ์เพศผู้และเพศเมียของพืชดอก และอธิบายการปฏิสนธิของพืชดอก
๓. อธิบายการเกิดเมล็ดและการเกิดผลของพืชดอก โครงสร้างของเมล็ดและผล และยกตัวอย่างการใช้ประโยชน์จากโครงสร้างต่าง ๆ ของเมล็ดและผล
๔. อธิบายเกี่ยวกับชนิดและลักษณะของเนื้อเยื่อพืช และเขียนแผนผังเพื่อสรุปชนิดของเนื้อเยื่อพืช
๕. สังเกต อธิบาย และเปรียบเทียบโครงสร้างภายในของรากพืชใบเลี้ยงเดี่ยวและรากพืชใบเลี้ยงคู่จากการตัดตามขวาง
๖. สังเกต อธิบาย และเปรียบเทียบโครงสร้างภายในของลำต้นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวและลำต้นพืชใบเลี้ยงคู่จากการตัดตามขวาง
๗. สังเกต และอธิบายโครงสร้างภายในของใบพืชจากการตัดตามขวาง
๘. สืบค้นข้อมูล สังเกต และอธิบายการแลกเปลี่ยนแก๊สและการคายน้ำของพืช
๙. สืบค้นข้อมูลและอธิบายกลไกการลำเลียงน้ำและธาตุอาหารของพืช
๑๐. สืบค้นข้อมูล อธิบายความสำคัญของธาตุอาหาร และยกตัวอย่างธาตุอาหารที่สำคัญที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช
๑๑. อธิบายกลไกการลำเลียงอาหารในพืช
๑๒. สืบค้นข้อมูลและสรุปการศึกษาที่ได้จากการทดลองของนักวิทยาศาสตร์ในอดีตเกี่ยวกับกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง
๑๓. อธิบายขั้นตอนที่เกิดขึ้นในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช C_3
๑๔. เปรียบเทียบกลไกการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ในพืช C_3 พืช C_4 และพืช CAM
๑๕. สืบค้นข้อมูล อภิปรายและสรุปปัจจัยความเข้มของแสง ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ และอุณหภูมิที่มีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช
๑๖. ทดลอง และอธิบายเกี่ยวกับปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการงอกของเมล็ด สภาพพักตัวของเมล็ด และบอกแนวทางในการแก้สภาพพักตัวของเมล็ด
๑๗. สืบค้นข้อมูล อธิบายบทบาทและหน้าที่ของออกซิน ไซโทไคนิน จิบเบอเรลลิน เอทิลีน และกรดแอบไซซิก และอภิปรายเกี่ยวกับการนำไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตร
๑๘. สืบค้นข้อมูล ทดลอง และอภิปรายเกี่ยวกับสิ่งเร้าภายนอกที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช

รวมทั้งหมด ๑๘ ผลการเรียนรู้

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
กระทรวงศึกษาธิการ

CHULA BOOK

จัดพิมพ์และจัดจำหน่ายโดย
ศูนย์หนังสือแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ถนนพญาไท แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ ๑๐๓๓๐
www.chulabook.com
ฝ่ายขายติดต่อ แผนกขายส่ง โทร. ๐-๒๓๗๔-๑๓๗๕-๖
โทรสาร ๐-๒๓๗๔-๑๓๗๔

ชีววิทยา ม.5 เล่ม3
ISBN 978-616-362-803-9
9 786163 628039
C 112
170500 86 บาท